

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
Институт истории и естествознания и техники им. С.И. Вавилова

На правах рукописи

КУДРЯВЦЕВ Василий Владимирович

**НАУЧНЫЕ ШКОЛЫ В ОТЕЧЕСТВЕННОЙ РАДИОФИЗИКЕ:
ЗАРОЖДЕНИЕ, РАЗВИТИЕ, ТВОРЧЕСКОЕ НАСЛЕДИЕ**

Специальность 07.00.10 — «История науки и техники»
(физико-математические науки)

Диссертация на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук

Научный консультант:
Визгин Владимир Павлович,
доктор физико-математических наук

Москва
2018

Содержание

Введение	5
Глава 1. Предмет радиофизики и ее истории	22
§ 1.1. Радиофизика, радиотехника, радиоэлектроника (терминологический анализ)	22
§ 1.1.1. Мнения ученых-радиофизиков	22
§ 1.1.2. Справочная литература по радиофизике	28
§ 1.1.3. Мнения авторов учебных курсов по радиофизике	29
§ 1.2. Характерные особенности и основания радиофизики как науки	33
§ 1.3. История радиофизики как направление в истории науки	36
Выводы по главе 1	75
Глава 2. Феномен научных школ в истории отечественной физики	76
§ 2.1. Феномен научных школ в различных контекстах	76
§ 2.1.1. Работы зарубежных ученых	77
§ 2.1.2. Работы отечественных ученых	79
§ 2.2. Исторические этапы развития научных школ	84
§ 2.3. Формирование научных школ в отечественной физике	87
§ 2.3.1. Формирование научных школ в России (досоветский период)	87
§ 2.3.2. Формирование советских научных школ в физике	90
§ 2.3.3. Изучение научных школ с точки зрения историков физики	93
§ 2.3.4. Научные школы в России и за рубежом	100
§ 2.4. Научная школа в отечественной радиофизике	102
§ 2.4.1. Параметры научной школы в отечественной радиофизике	102
§ 2.4.2. Схема изложения материала о радиофизической школе	106
Выводы по главе 2	108
Глава 3. Зарождение отечественной радиофизики. Научные школы в области радиотехники	110

§ 3.1. Формирование первых радиотехнических центров	110
§ 3.1.1. Радиотелеграфный завод Морского ведомства	114
§ 3.1.2. «Русское общество беспроволочных телеграфов и телефонов» (РОБТиТ)	117
§ 3.1.3. Российское общество радиоинженеров (РОРИ)	120
§ 3.1.4. Нижегородская радиолaborатория (НРЛ)	122
§ 3.1.5. Другие радиотехнические центры СССР	127
§ 3.1.6. Центральная радиолaborатория (ЦРЛ)	129
§ 3.2. И.Г. Фрейман и научная школа в области инженерной радиотехники	132
§ 3.3. М.В. Шулейкин и научная школа в области инженерной радиотехники, теории и практики распространения радиоволн	147
§ 3.4. А.Л. Минц и научные школы в области техники мощных радиовещательных станций и ускорительной техники	162
§ 3.5. Научная школа В.К. Аркадьева (laborатория электромагнетизма им. Дж.К. Максвелла)	185
§ 3.6. Б.А. Введенский и научная школа по исследованию распространения УКВ ...	212
Выводы по главе 3	236
 Глава 4. Формирование радиофизики как науки. Научные школы	
Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси и их учеников	239
§ 4.1. Научная школа Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси	239
§ 4.2. Научные школы учеников Л.И. Мандельштама и Н.Д. Папалекси	295
§ 4.2.1. А.А. Андронов и научная школа в области теории нелинейных колебаний и теории автоматического регулирования	296
§ 4.2.2. Г.С. Горелик и научная школа в области теории нелинейных колебаний и статистической радиофизики.....	349
§ 4.2.3. С.М. Рытов и его семинар по статистической радиофизике	380
Выводы по главе 4	391
 Глава 5. Научные школы в области отечественной радиолокации и радиоастрономии	
§ 5.1. Ю.Б. Кобзарев и научная школа в области радиолокации	393

§ 5.2. С.Э. Хайкин и научная школа в области экспериментальной радиоастрономии	431
Выводы по главе 5	465
Заключение	467
Список сокращений и условных обозначений	476
Список литературы	483
Список иллюстративного материала	522
Приложение 1. Нобелевские премии в области радиофизики	523
Приложение 2. Иллюстративный материал	525
Приложение 3. Программа модульного курса «История радиофизики»	530
Приложение 4. Параметры научной школы в отечественной радиофизике	549
Приложение 5. Письмо В.К. Аркадьева Л.Д. Ландау	589
Приложение 6. Письмо А.А. Андропова Н.Д. Папалекси	591
Приложение 7. Некоторые современные радиофизические центры	593

Введение

Актуальность исследования

Радиофизика — раздел физики, в котором изучаются общие закономерности генерации, передачи, приема, регистрации и анализа колебаний и волн различной физической природы и разных частотных диапазонов, а также их применение в фундаментальных и прикладных работах¹. Радиофизические методы широко используют при исследовании различных явлений и процессов:

- в астрофизике (изучение космических объектов путем анализа приходящего от них радиоизлучения);
- в планетологии (радиолокация планет и их спутников);
- в спектроскопии атомов и атомных ядер (резонансные методы исследования, методы лазерной спектроскопии);
- в дистанционном мониторинге поверхности Земли и акваторий Мирового океана (исследование природных сред по собственному и отраженному радиоизлучению);
- в метеорологии (контроль за озоновым слоем Земли, облачными и грозовыми фронтами и осадками);
- в геологии (поиск минеральных месторождений, определение состава земных пород и их структуры радиолокационными методами);
- в спутниковой связи и мобильной телефонии;
- в медицине (ЯМР-томография) и др.

Благодаря появлению таких радиофизических направлений исследований как радиоспектроскопия, статистическая радиофизика, квантовая радиофизика, радиоастрономия был осуществлен революционный прорыв во многих областях современной науки и техники. Расширяя и многократно приумножая возможности человека, радиофизика обеспечивает его уверенное продвижение по пути научно-технического прогресса. Радиофизические открытия лежат в основе технических устройств (лазерные технологии, микроэлектронные устройства), определяющих жизнь

¹ Данное определение приведено в паспорте научной специальности 01.04.03 — «Радиофизика» (<http://vak.ed.gov.ru/316>).

современного информационного общества.

Радиофизика является одним из бурно развивающихся направлений современной фундаментальной науки. В этой области физики сделаны выдающиеся открытия, отмеченные Нобелевскими премиями. К ним, в частности, следует отнести:

- работы по созданию беспроводной телеграфии (К.Ф. Браун, Г. Маркони, 1909 г.);
- открытие и исследование ЯМР (Ф. Блох, Э. Перселл, 1952 г.);
- исследования полупроводников и открытие транзисторного эффекта (У. Шокли, Дж. Бардин, У. Браттейн, 1956 г.);
- разработка метода апертурного синтеза и обнаружение пульсаров (М. Райл, Э. Хьюиш, 1974 г.);
- открытие двойного пульсара (Р. Халсе, Дж. Тейлор-мл., 1993 г.).

Отметим, что отечественные ученые внесли весомый вклад в становление и развитие радиофизической науки. Благодаря их работам, были разработаны: целостная теория нелинейных колебаний, теория автоколебаний, теория автоматического регулирования. Это позволило сформировать математический аппарат радиофизики и успешно применить ее методы к изучению технических устройств и колебательных систем различной физической природы.

Несмотря на высокий научный, технический и социокультурный статусы, история радиофизики исследована явно недостаточно. Анализ историко-научной литературы показывает, что комплексное рассмотрение эволюции этой науки до сих пор не проводилось.

Вопросы истории радиофизики можно изучать сквозь призму Нобелевских премий, присужденных за достижения в этой области. Анализ тематики Нобелевских премий в области радиофизики позволяет определить магистральные направления ее исследований и сфокусировать внимание на истории их развития вплоть до настоящего времени. Историю радиофизики можно также представить как историю ключевых радиофизических экспериментов. Кроме того, можно исследовать научные биографии творцов радиофизики и, используя полученный историко-биографический материал, реконструировать исторические этапы развития этой науки. Однако, учитывая специфику предмета и характерные особенности радиофизики, к ее истории, на наш взгляд, следует применять комплексный подход. Одним из них может стать

исследование деятельности научных школ в радиофизике, в первую очередь, отечественной.

Научная школа — форма исследовательской деятельности, позволяющая объединить группу единомышленников под руководством авторитетного лидера и сконцентрировать ее усилия на решении определенной научной проблемы. При этом обеспечиваются преемственность поколений, высокий уровень теоретических и прикладных разработок, формируется определенный стиль работы участников школы, закладываются научные традиции.

Целесообразность применения научно-школьного подхода к истории отечественной радиофизики обусловлена рядом причин².

Во-первых, в прошлом столетии наука (в том числе радиофизика) в значительной степени стала коллективным предприятием, а научная школа оказалась одной из его наиболее эффективных форм. Научная школа особенно характерна для организации советской науки, что подтверждается фактическим материалом по истории отечественной радиофизики. Ее формирование и развитие обусловлены деятельностью научных школ, возглавляемых выдающимися учеными: И.Г. Фрейманом, М.В. Шулейкиным, В.К. Аркадьевым, Б.А. Введенским, Л.И. Мандельштамом, Н.Д. Папалекси, А.А. Андроновым, Г.С. Гореликом, С.Э. Хайкиным и др.

Во-вторых, с помощью научно-школьного подхода можно получить панорамную картину развития отечественной радиофизики в различных контекстах («измерениях»): научно-содержательном, социокультурном, научно-коммуникативном и личностно-психологическом. При этом можно более детально исследовать сам феномен научной школы, собрать и систематизировать историко-научный материал об ученых-радиофизиках и их научных школах. На основе научно-школьного подхода можно описать не только результаты, полученные той или иной научной школой, но и обнаружить тенденции развития определенного научного направления в радиофизике. Это позволит выявить «белые пятна» в истории радиофизической науки.

² Согласно формуле научной специальности 07.00.10 — «История науки и техники», одним из ведущих направлений исследований в этой области является «история становления и развития научных школ и направлений, роли их основоположников — ведущих ученых — в развитии мировой науки, установление и обоснование приоритетов в открытиях, в разработке новых методов фундаментальных теорий».

В-третьих, обращение к вопросам истории радиофизики актуально в связи с преподаванием данной науки в вузах и учреждениях среднего профессионального образования. Для студентов и аспирантов, обучающихся по радиофизическому профилю, представляет значительный интерес изучение истории развития радиофизики, научного наследия ученых-радиофизиков, современных радиофизических проблем, деятельности научных школ в этой области. Материал по истории радиофизики удачно дополняет теоретический курс радиофизики, предоставляя студентам возможность расширить свои знания в области истории этой науки, раскрыть межпредметные связи и методологические аспекты радиофизики.

Диссертационное исследование представляет собой историко-научную работу, направленную на реконструкцию этапов зарождения и развития радиофизики в русле научных школ. Для решения этой нетривиальной задачи необходимо, прежде всего, проанализировать предмет, методы, характерные особенности, теоретические, экспериментальные и прикладные основания радиофизики. Кроме того, для изучения деятельности радиофизических школ важно разработать параметры, по которым их можно идентифицировать, а также предложить периодизацию исторических этапов развития этой научной дисциплины,

Научные школы и их основополагающая роль в зарождении и развитии отечественной радиофизики, с одной стороны, и недостаточная изученность результатов их деятельности и творческого наследия, с другой стороны, определяет актуальность данного исследования.

Объект исследования: история возникновения и развития отечественной радиофизики в XX в.

Предмет исследования: эволюция и творческое наследие радиофизических школ в нашей стране в период с 1913 по 1992 гг.³

Цель данной работы состоит в проведении историко-научной реконструкции процессов зарождения и развития отечественной радиофизики в контексте деятельности

³ Выбор данных хронологических границ определяется началом работы (1913 г.) научной школы М.В. Шулейкина — самой ранней из радиофизических школ и окончанием деятельности (1992 г.) научной школы Ю.Б. Кобзарева — последней из рассмотренных в диссертации радиофизических школ. Эти временные рамки не охватывают современные радиофизические центры.

ведущих радиофизических школ, изучении результатов их деятельности.

Достижение поставленной цели автор диссертации видит в решении следующих **задач**:

1) провести анализ различных дефиниций предмета радиофизики, рассмотреть сферы применения радиофизических методов, характерные особенности, теоретические, экспериментальные и прикладные основания радиофизики с учетом тенденций развития современной физики;

2) определить предмет, цели, подходы к изучению истории радиофизики, разработать периодизацию ее этапов зарождения и развития;

3) проанализировать феномен научных школ и причины их возникновения, определить характерные признаки таких научных коллективов, а также выявить их роль в развитии отечественной физики;

4) разработать параметры научной школы в радиофизике, по которым их можно идентифицировать;

5) собрать и систематизировать историко-научный материал, посвященный деятельности научных школ в отечественной радиофизике, предложить общую схему изложения историко-научного материала о научных школах в радиофизике;

6) описать историю формирования первых радиотехнических центров в России и эволюцию научных школ в области радиотехники, благодаря деятельности которых были созданы теоретические и практические основы для появления в 1930–1940-х гг. радиофизики как самостоятельного научного направления;

7) рассмотреть становление, развитие и результаты работы научной школы Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси, оказавшей основополагающее влияние на разработку теории нелинейных колебаний, формирование «нелинейной колебательной культуры» в нашей стране;

8) изучить деятельность некоторых научных школ, зарождение и развитие которых напрямую связано с научной школой Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси;

9) охарактеризовать вклад научных школ в развитие таких магистральных направлений радиофизических исследований как радиолокация и радиоастрономия;

10) составить схемы, отображающие жизненные циклы и эволюцию исследовательских программ рассмотренных научных школ в отечественной радиофизике.

Основные группы источников

В диссертационном исследовании была использована историко-научная литература, которую можно разделить на несколько групп.

Первую группу источников образуют историко-научные, науковедческие и философско-методологические исследования, в которых выполнен анализ понятия «научная школа» и раскрыты особенности применения научно-школьного подхода к исследованию конкретных научных дисциплин (в том числе, истории физики).

В книге Т. Куна «Структура научных революций» (1962 г.) рассмотрена роль научных школ в периоды «нормальной науки» и научных революций. Общие черты научной школы, модель «идеальной исследовательской школы», факторы, влияющие на развитие научных школ, приведены в работах Д. Прайса, Д. Крейна, Дж. Моррелла, Дж. Гейсона, Б.Ч. Гриффита, Н.Ч. Маллинза, а также в выпуске историко-научного журнала «Osiris» (под редакцией Ф.Л. Холмса и Дж. Гейсона, 1993 г.).

Вопросы, связанные с изучением становления и развития научных школ, выявлением их отличительных признаков находятся в фокусе внимания отечественных историков и философов науки, науковедов: А.Н. Антонов, Д.Б. Аронов, О.Ю. Грезнева, Д.Ю. Гузевич, Г.Б. Жданов, В.К. Криворученко, Н.А. Куперштох, Е.З. Мирская, С.Р. Микулинский, О.А. Овчинников, М.Г. Ярошевский, Н.И. Родный и др.

В СССР интерес к научно-школьной проблематике возник в конце 1960-х — начале 1970-х гг. В этот период в Институте истории естествознания и техники (ИИЕТ) АН СССР начали проводиться работы (Н.И. Родный, М.Г. Ярошевский, С.Р. Микулинский) на стыке классической истории науки и науковедения. Под редакцией С.Р. Микулинского и М.Г. Ярошевского, а также коллег из ГДР Г. Кребера и Х. Штайнера вышел сборник статей «Школы в науке» (1977 г.). В нем обсуждаются становление и развитие научных школ, их влияние на научно-технический прогресс, роль научных школ в воспитании молодых кадров.

В 1995 г., благодаря инициативе академиков РАН (В.Е. Фортова, В.Е. Захарова, В.П. Скулачева, А.Ф. Андреева, А.В. Гапонова-Грехова), была разработана государственная программа поддержки ведущих научных школ России. Опыт первых лет работы по данной программе был опубликован в ряде статей и докладов, а также в справочнике «Ведущие научные школы России» (1998 г.).

В последнее время наблюдается всплеск интереса отечественных специалистов к

изучению феномена научных школ. В 1997 г. вышел в свет специальный выпуск «Историко-математических исследований под редакцией С.С. Демидова и испанского историка математики М. Ормигона, посвященный деятельности научных школ в области математики.

В докторской диссертации О.М. Мельниковой рассматриваются научные школы в археологии (2004 г.), в работе Р.А. Фандо «Формирование научных школ в отечественной генетике в 1930–1940-е гг.» (2005 г.) — институциональный, кадровый, исследовательский и философско-идеологические аспекты формирования и развития научных генетических школ. В периодических изданиях и в сети Интернет можно найти статьи, посвященные феномену научных психологических школ, научных школ в химии, географии и т. д.

Пионером в изучении научных школ в области физики и в применении научно-школьного подхода к истории этой науки стал Ю.А. Храмов. В 1979 г. был издан его препринт «Научные школы в физике», на основе которого была опубликована монография с тем же названием (1987 г.). К препринту 1979 г. была приложена схема «Эволюция первой физической школы Кундта». Фактически, она стала первым наброском развития отечественной физики как процессов возникновения и эволюции физических научных школ. В книге Ю.А. Храмова 1987 г. были описаны восемь крупнейших отечественных научных школ в физике: П.Н. Лебедева, А.Ф. Иоффе, Д.С. Рождественского, Л.И. Мандельштама, С.И. Вавилова, Л.Д. Ландау, И.Е. Тамма и И.В. Курчатова.

В 2000-х гг. интересы историков физики ИИЕТ РАН были сосредоточены на вопросах, связанных с историей развития физики в СССР в период 1950–1960-е гг., и изучением научного сообщества физиков. В 2005 г. вышел первый, а в 2007 г. — второй выпуск сборника «Научное сообщество физиков», в котором научно-школьный подход был применен к описанию истории советской физики. В результате исследований была предложена типология физических школ, а также выделено примерно 75 школ, корни которых относятся к школам-прародительницам (П.Н. Лебедева, А.Ф. Иоффе, Д.С. Рождественского, Л.И. Мандельштама, С.И. Вавилова). Кроме того, была разработана схема эволюции физических научных школ, деятельность которых приходится на период 1950–1960-х гг.

В 2014 г. была опубликована книга В.П. Визгина, А.В. Кессениха и К.А.

Томилина «К исследованию феномена советской физики 1950–1960-х гг. Социокультурные и междисциплинарные аспекты», ставшая естественным продолжением сборников «Научное сообщество физиков». В ней значительное внимание уделено междисциплинарным аспектам физики, а также описанию некоторых междисциплинарных научных школ — в области химической физики и биофизики.

В 2016 г. был издан сборник «Исследования по истории физики и механики. 2014–2015». В его содержание вошли результаты историко-научного анализа деятельности некоторых отечественных научных школ (С.И. Вавилова, Д.Д. Иваненко, Н.Н. Боголюбова, А.В. Шубникова, радиоастрономических коллективов и др.) в области физики. В 2016 г. вышли в свет два специальных номера журнала «История науки и техники», посвященных феномену научных школ в истории отечественной физики. В статье В.П. Визгина и А.В. Кессениха «Научно-школьный подход к истории отечественной физики» приведена карта-схема физических школ, содержащая более 50 школьных коллективов. В материалах В.В. Кудрявцева и В.А. Ильина обсуждаются научные школы в области радиотехники и радиоэлектроники, теории нелинейных колебаний, радиолокации и радиоастрономии. В других статьях этих выпусков журнала описаны история развития научной радиофизической школы МПГУ, Казанской научной школы магнитной радиоспектроскопии, гравитационной школы Д.Д. Иваненко, научно-инженерной школы радиотехники И.Г. Фреймана.

Вторую группу источников представляют архивные материалы РАН, содержащие автобиографии, рукописи работ и статей, описания изобретений, отзывы, рабочие материалы, письма и фотографии отечественных радиофизиков — руководителей научных школ: фонд 607 АРАН (М.В. Шулейкин), фонд 1794 АРАН (А.Л. Минц), фонд 641 АРАН (В.К. Аркадьев), фонд 1652 АРАН (Б.А. Введенский), фонд 1622 АРАН (Л.И. Мандельштам), фонд 600 АРАН (Н.Д. Папалекси), фонд 1938 АРАН (А.А. Андронов).

Третью группу источников составляют книги и монографии по истории развития отдельных направлений радиофизики. В качестве примеров можно привести книги: М.А. Быховского «Пионеры информационного века. История развития теории связи» (2006 г.) и «Круги памяти. Очерки истории развития радиосвязи и вещания в XX столетии» (2001 г.), В.П. Борисова «Из истории отечественной радиоэлектроники» (2010 г.), В.М. Родионова «Зарождение радиотехники» (1985 г.), коллективную монографию «Развитие радиоастрономии в СССР» (под редакцией Л.М. Гиндилиса, Р.Д.

Дагкесаманского, А.Д. Кузьмина и др., 1988 г.) и др.

Отметим также сборники статей, приуроченные к юбилеям изобретения радио и посвященные научно-техническим достижениям отечественных ученых в области радиотехники и электроники. Фрагменты о формировании и развитии важнейших направлений радиофизики приведены в материале А.Л. Минца «Радиоэлектроника (краткая история и достижения)» (1963 г.), книгах Л.А. Арцимовича «Развитие физики в СССР» (1967 г.), брошюре В.А. Лешковцева «50 лет советской физики» (1968 г.), книге Э.В. Шпольского «Очерки по истории развития советской физики. 1917–1967» (1969 г.).

Четвертую группу источников представляет историко-биографическая литература о жизни и научной деятельности радиофизиков и радиотехников. К их числу относятся книги, в которых содержатся научные биографии: Д.А. Рожанского (И.Д. Рожанский, М.М. Рожанская, С.Р. Филонович, 2003 г.), А.С. Попова (Д.Д. Сони́на, 2007 г.), Л.И. Мандельштама (А.А. Печенкин, 2011 г.), И.Г. Фреймана (Л.И. Золотинкина; под ред. В.Н. Ушакова, 2015 г.), А.Л. Минца (Д.А. Тимошенко, 2015 г.) и др.

В брошюре А.С. Лонгинова и В.И. Старикова «Золотая медаль имени А.С. Попова» (1980 г.) рассмотрены биографии советских и зарубежных ученых (А.И. Берга, Б.А. Введенского, С.А. Векшинского, А.Л. Минца, С.Э. Хайкина, М. Райла и др.), внесших значительный вклад в развитие радиофизики и радиоэлектроники, и награжденных за научные достижения Золотой медалью им. А.С. Попова.

В рамках серии «Выдающиеся ученые физического факультета МГУ», были изданы научно-биографические материалы о С.П. Стрелкове (2002 г.), К.Ф. Теодорчике (2003 г.), В.В. Мигулине (2006 г.), В.К. Аркадьеве (2008 г.). Значительный интерес представляет также серия «Личность в науке», которую организовали сотрудники музея радиофизического факультета Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского. В разное время были опубликованы каталоги, содержащие биографические сведения, архивные материалы и описания научных результатов деятельности М.Т. Греховой (1997 г.), А.А. Андропова (2001 г.), Г.С. Горелика (2006 г.), В.С. Троицкого (2008 г.), В.Л. Гинзбурга (2010 г.).

В 2003 г. была издана биографическая энциклопедия «Отечественная радиоэлектроника» (в двух томах), в которой приведены биографии ученых-радиофизиков, работавших и продолжающих работать на предприятиях радиоэлектронного комплекса. В книге М.А. Быховского «Творцы российской

радиотехники. Жизнь и вклад в мировую науку» (2005 г.) представлены очерки о жизни крупных отечественных ученых-радиотехников и радиофизиков (в том числе, А.И. Берга, А.Л. Минца, Б.А. Введенского, В.И. Сифорова, А.Д. Фортуненко, Ю.В. Гуляева).

Краткие биографии отечественных радиотехников и радиофизиков приведены в справочнике Ю.А. Храмова «Физики: биографический справочник» (1983 г.), на сайте электронной библиотеки «Научное наследие России» (<http://e-heritage.ru/>), сайте «Ретро радиоэлектроника на лампах и транзисторах» (<http://radiolamp.net/>), в биографическом словаре «Ученые Московского университета — действительные члены и члены-корреспонденты Российской академии наук (1755–2004)» (2004 г.).

Пятую группу источников образуют периодические издания, на страницах которых можно найти историко-научные материалы о развитии радиофизики и ее направлений, важнейших радиофизических открытиях и их авторах. Отметим статьи, опубликованные в ряде журналов.

- «Успехи физических наук» — Э.В. Шпольский «Пятьдесят лет советской физики» (1967 г.), Б.А. Введенский и М.И. Пономарев «Советская радиофизика за 30 лет» (1947 г.), Н.Н. Малов «Владимир Константинович Аркадьев (1884–1953)» и «Александра Андреевна Глаголева-Аркадьева (1884–1945)», изданные соответственно в 1954 и 1946 гг.; статьи Н.Д. Папалекси, В.В. Рагульского, В.В. Мигулина, А.В. Гапонова-Грехова и М.И. Рабиновича, С.М. Рытова, И.Е. Тамма, Е.Л. Фейнберга, посвященные научному творчеству и педагогической деятельности Л.И. Мандельштама; научно-биографические материалы В.В. Мигулина, С.М. Рытова, А.Е. Саломоновича о жизни и научной деятельности Н.Д. Папалекси;

- «История науки и техники» — Н.А. Арманд и А.В. Кессених «Борис Алексеевич Введенский — физик, радиоинженер, энциклопедист» (2003 г.), В.В. Кудрявцев и В.А. Ильин «История радиофизики в контексте Нобелевской премии» (2009 г.), В.В. Кудрявцев, Г.Н. Гольцман, В.А. Ильин «Радиофизика в истории МПГУ» (2009 г.), Г.Н. Гольцман, В.А. Ильин, В.В. Кудрявцев «Радиофизическая научная школа и ее основатель Евгений Михайлович Гершензон (к 80-летию со дня рождения)» (2011 г.);

- Историко-научные и научно-биографические материалы содержатся также в журналах «Электросвязь: история и современность», «Известия вузов. Радиофизика», «Успехи современной радиоэлектроники» и др.

К шестой группе источников по истории радиофизики относится учебная

литература: учебники, учебные пособия и методические разработки. В 2011 и 2013 гг. вышли в свет два учебных пособия В.В. Кудрявцева и В.А. Ильина для высших учебных заведений: «Избранные вопросы истории радиофизики. Том I» и «Избранные вопросы истории радиофизики. Том II. Современные достижения». В них отбор историко-физического материала был выполнен на основе анализа тематики Нобелевских премий, присужденных в области радиофизики.

В 2014 г. был издан учебник «История и методология физики» (авторы В.А. Ильин, В.В. Кудрявцев), предназначенный для магистров, в котором истории радиофизики отводится отдельная глава. В 2017 г. было опубликовано учебное пособие «История радиофизики» тех же авторов, представляющее собой модульный курс для магистров. Его содержание образуют модули, посвященные истории развития определенного радиофизического направления: от истоков его формирования до современного уровня исследований.

Несмотря на то, что приведенные пособия преследует, прежде всего, образовательные цели, в них отражена история развития ключевых радиофизических идей и методов.

Методы работы включали историко-научный анализ основополагающих трудов отечественных ученых-радиофизиков — руководителей научных школ и их учеников, выявление различных факторов, повлиявших на становление и развитие каждой из описанной радиофизической школы, обработку архивных материалов, изучение оригинальных статей, документов и комментариев к ним.

При рассмотрении каждой научной школы в радиофизике была использована схема, структуру которой образуют следующие элементы.

1) Источники литературы: обзор наиболее важных источников информации о рассматриваемой научной школе.

2) Направление радиофизики: описание раздела радиофизики, в котором работает научная школа.

3) Научная биография руководителя научной школы: рассмотрение основополагающих теоретических и практических результатов, полученных лидером научной школы.

4) Становление научной школы: внутренние и внешние факторы, оказавшие влияние на ее формирование, институциональная основа научной школы.

5) Исследовательская программа научной школы: определение магистрального направления исследований научной школы и его эволюция.

6) Стиль руководства в научной школе: педагогическая деятельность лидера научной школы, атмосфера в коллективе, влияние лекционных и семинарских занятий на становление участников научной школы.

7) Представители научной школы: список некоторых учеников с краткой характеристикой результатов их деятельности.

8) Результаты научной школы: вклад научной школы в развитие отечественной радиофизики, его оценка государством и обществом, заполнение таблицы «Параметры научной школы в отечественной радиофизике».

Теоретико-методологическую основу исследования составляет сочетание общенаучных методов и принципов исследования и, прежде всего, принципов научной объективности и историзма. Для решения поставленных задач были использованы специально-исторические принципы научного познания, к которым относятся хронологический, системный, комплексный анализ источников. Используя принцип историко-научного анализа и научно-школьный подход, была выполнена реконструкция истории зарождения и развития отечественной радиофизики.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Анализ различных дефиниций предмета радиофизики показывает, что эта научная дисциплина выступает своеобразным мостом между радиотехникой и физикой, обладает широкой трактовкой изучаемых явлений и характеризуется активной экспансией методов в разные разделы современной фундаментальной науки и техники. Наиболее адекватное определение предмета радиофизической науки, соответствующее ее современному этапу развития, сформулировано академиками РАН А.В. Гапоновым-Греховым и А.Г. Литваком.

2. В развитии радиофизики можно выделить шесть этапов:

- Этап I. Формирование теоретических и экспериментальных предпосылок для создания теории электромагнитного поля (с 1820 по 1857 гг.).

- Этап II. Разработка теории электромагнитного поля (с 1857 по 1865 гг.).

- Этап III. Развитие теории электромагнитного поля. Открытие и исследование электромагнитных волн (с 1865 по 1895 гг.).

- Этап IV. Формирование и развитие искровой радиотехники, радиотехники

незатухающих колебаний и вакуумной электроники (с 1895 гг. по 1930 гг.).

- Этап V. Формирование радиофизики как науки (с 1930 по 1940-е гг.).
- Этап VI. Дифференциация радиофизической науки и экспансия ее методов в различные области науки и техники (с 1940-е гг. по настоящее время).

3. Одним из подходов к изучению истории отечественной радиофизики является исследование деятельности научных школ. В содержании понятия научной школы можно выделить научно-содержательное, научно-организационное, научно-образовательное, личностно-психологическое, социокультурное «измерения». Им можно сопоставить определенные параметры научной школы в радиофизике, по которым их следует идентифицировать. В результате появляется возможность разработать единую схему изложения материала о научных школах в радиофизике.

4. Истоки зарождения отечественной радиофизики связаны с деятельностью первых радиотехнических центров. Благодаря работам Радиотелеграфного завода Морского ведомства, «Русского общества беспроволочных телеграфов и телефонов» (РОБТиТ), Российского общества радиоинженеров (РОРИ), Нижегородской радиолaborатории (НРЛ), Центральной радиолaborатории (ЦРЛ), были решены следующие задачи: ВМФ обеспечен радиоаппаратурой отечественного производства, подготовлены квалифицированные кадры инженеров-радиотехников, заложены основы радиосвязи, радиотехники, электроники, радиовещания, отечественной радиоэлектронной промышленности.

5. На становление отечественной радиотехники значительное влияние оказали научные школы И.Г. Фреймана, М.В. Шулейкина, А.Л. Минца, В.К. Аркадьева и Б.А. Введенского. Обширный теоретический и экспериментальный материал, накопленный научными школами, потребовал консолидированного физического описания в рамках более широкой научной дисциплины, которой и стала радиофизика. Полученные ими результаты позволили создать теоретические и практические основы для зарождения в 1930–1940-х гг. радиофизики.

6. В этот период ведущую роль играла научная школа Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси. Математический аппарат радиофизики и ее важнейшие методы были разработаны Л.И. Мандельштамом, Н.Д. Папалекси и их учениками. Они оказали основополагающее влияние на создание и развитие теории нелинейных колебаний, формирование «нелинейной колебательной культуры» в нашей стране.

7. Некоторые участники научной школы Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси создали собственные научные школы, работы которых пронизывают идеи Л.И. Мандельштама и Н.Д. Папалекси. Деятельность их учеников (А.А. Андропова, Г.С. Горелика, С.М. Рытова) позволили расширить область применения теории нелинейных колебаний (например, исследовать задачи теории автоматического регулирования, флуктуации в колебательных системах), создать новые методы и подходы.

8. Дальнейшая эволюция радиофизической науки происходила в рамках ее магистральных направлений. Коллектив ученых под руководством Ю.Б. Кобзарева провел пионерские исследования по созданию и развитию импульсной радиолокации, принципов построения когерентно-импульсной радиолокационной техники. Деятельность научной школы С.Э. Хайкина связана с разработкой методов и инструментальной базы экспериментальной радиоастрономии. Полученные им и его учениками результаты позволили спроектировать и создать радиотелескопы нового типа (БПР, РАТАН-600). С помощью этих устройств были совершены важнейшие астрофизические открытия.

9. На основе научных школ сформировались некоторые современные радиофизические центры. Работы представителей научной школы Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси К.Ф. Теодорчика и В.В. Мигулина привели к формированию научной школы кафедры физики колебаний МГУ. Благодаря деятельности научных школ А.В. Гапонова-Грехова (ученика А.А. Андропова) и М.А. Миллера (ученика М.Л. Левина), в Поволожском регионе образовался уникальный научный, образовательный и технологический кластер — Нижегородская радиофизическая школа. Организация ИРЭ АН УССР стала закономерным следствием развития радиофизики в Харьковском университете и УФТИ. У истоков радиофизических исследований в Харькове стоял Д.А. Рожанский, вокруг которого сформировался коллектив исследователей-единомышленников. С именем Н.Н. Малова — ученика В.К. Аркадьева — связано зарождение радиофизической школы МПГУ.

Научная новизна исследования

В диссертации впервые в историко-научной литературе проведено комплексное исследование истории зарождения и развития отечественной радиофизики в контексте научных школ в период с 1913 по 1992 гг. Эта новизна конкретизируется в следующих положениях:

1) проведен анализ различных дефиниций предмета радиофизики, на основе которого выбрано и обосновано наиболее общее определение этой науки, соответствующее ее современному состоянию и тенденциям развития;

2) сформулированы предмет и цели истории радиофизики, разработана периодизация ее этапов зарождения и развития;

3) выявлены параметры научной школы в отечественной радиофизике, позволяющие идентифицировать и исследовать каждую научную школу в соответствии с научно-содержательным, научно-организационным, научно-образовательным, личностно-психологическим и социокультурным «измерениями»;

4) проанализирована роль первых научно-технических центров в зарождении отечественной радиофизики;

5) раскрыты внешние и внутренние факторы, оказавшие влияние на становление радиофизики в нашей стране;

6) описаны научные школы И.Г. Фреймана, М.В. Шулейкина, А.Л. Минца, В.К. Аркадьева и Б.А. Введенского, деятельность которых привела к формированию радиофизики как науки;

7) изучена эволюция научной школы Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси, внесшей основополагающий вклад в развитие радиофизики в нашей стране;

8) определены результаты деятельности А.А. Андропова, Г.С. Горелика (учеников Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси), ставших руководителями собственных научных школ;

9) приведены результаты работы научной школы Ю.Б. Кобзарева в области радиолокации и научной школы С.Э. Хайкина в области экспериментальной радиоастрономии;

10) описаны современные радиофизические центры (кафедра физики колебаний МГУ, Нижегородская радиофизическая школа, Харьковская радиофизическая школа, радиофизическая школа МПГУ), которые сформировались на основе ранее функционировавших научных школах;

11) составлена схема, отображающая жизненные циклы 10 научных школ в отечественной радиофизике;

12) разработана схема, позволяющая оценить эволюцию научных школ Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси, Д.А. Рожанского и В.К. Аркадьева.

Теоретическая и практическая значимость работы

Диссертационная работа восполняет пробел, существующий в истории отечественной физики, связанный с анализом и оценкой вклада научных школ в зарождение и развитие радиофизики. В исследовании рассмотрена эволюция некоторых радиофизических школ: от их истоков до трансформации в современные научно-образовательные центры.

Полученные результаты могут быть использованы при дальнейшем изучении эволюции радиофизической науки, чтении курсов по радиофизике, истории и методологии физики, различных спецкурсов в высших учебных заведениях, при составлении учебных и методических пособий.

Материалы диссертационной работы использовались при составлении спецкурса «История радиофизики», который проводился на факультете физики и информационных технологий МПГУ. Данный спецкурс предназначен для студентов старших курсов, бакалавров, магистров и аспирантов физических специальностей.

Апробация результатов исследования

Результаты диссертационного исследования обсуждались на заседаниях кафедры общей и экспериментальной физики (КОЭФ) МПГУ, на семинарах ИИЕТ РАН им. С.И. Вавилова.

Материалы диссертационной работы докладывались:

- на Межрегиональной научной конференции «Проблемы научного обеспечения изучения философии и истории естествознания в современных условиях» (Армавир, 2008 г.);
- на VIII-ой Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 70-летию Пензенского государственного педагогического университета имени В.Г. Белинского (Пенза, 2008 г.);
- на Всероссийской научно-технической конференции «Современные проблемы методического и информационного обеспечения высшего образования» (Тула, 2008 г.);
- на IV-ой Международной научно-практической конференции «Science, Technology and Higher Education» (Westwood, Canada, 2014 г.);
- на Втором международном историко-научном симпозиуме по оптике «История оптики в системе научных знаний» (Санкт-Петербург, 2014 г.);
- на Международных конференциях «Физика в системе современного

образования (ФССО)» (Волгоград, 2011 г.; Санкт-Петербург, 2015 г.);

- на Международных научно-методических конференциях «Физическое образование: проблемы и перспективы развития» (2008 г., 2011 г., 2012 г., 2016 г.);

- на Международной научно-методической конференции «Физико-математическое и технологическое образование: проблемы и перспективы развития» (Москва, 2015 г., 2017 г.);

- на годовых научных конференциях ИИЕТ РАН (2012 г., 2013 г., 2015 г., 2016 г., 2017 г.);

- на II-ой Всероссийской научно-методической конференции «Физико-математическое образование: проблемы и перспективы» (Елабуга, 2017 г.);

- на VII-ом историко-архивном форуме «Память о прошлом — 2018» (Самара, 2018 г.).

Структура и объем диссертации включает введение, 5 глав, заключение, библиографический список и 7 приложений. Общий объем диссертации составляет 657 страниц: 523 страницы основного текста, 7 таблиц, 2 схемы, 23 рисунка (в том числе 16 портретов). Список цитированной литературы состоит из 554 наименований.

Глава 1. Предмет радиофизики и ее истории

Прежде чем, раскрыть особенности научно-школьного подхода и применить его к истории отечественной радиофизики, необходимо проанализировать предмет, методы, характерные особенности, теоретические, экспериментальные и прикладные основания этой науки. Кроме того, для анализа деятельности научных школ в радиофизике важно разработать периодизацию исторических этапов развития и важнейших достижений этой научной дисциплины. Это позволит установить временные рамки историко-научного исследования.

§ 1.1. Радиофизика, радиотехника, радиоэлектроника (терминологический анализ)

В историко-научной, научно-популярной, справочной литературе существуют различные трактовки предмета радиофизики. Для удобства их можно разделить на три группы. В первой из них приведены мнения ученых-радиофизиков, во второй группе — собраны выдержки из справочной литературы, а в третьей группе — представлены точки зрения авторов различных учебных курсов по радиофизике. Отметим, что указанное деление весьма условно, так как ученые-радиофизики могут быть и авторами учебников по радиофизике. В ходе терминологического анализа особое внимание уделим предметной области радиотехники и радиоэлектроники — смежным с радиофизикой научным дисциплинам.

§ 1.1.1. Мнения ученых-радиофизиков

В статье «Советская радиофизика за 30 лет» академика АН СССР Б.А. Введенского и М.И. Пономарева говорится: «Радиотехника является одним из наиболее ярких примеров технической дисциплины, сохранившей весьма тесный контакт с физикой. В ряде важных случаев радиотехнике, так же как и другим отраслям техники, приходится покидать давно привычную почву линейных колебаний и заниматься — главным образом при колебаниях электронных приборов — колебаниями нелинейными. Наконец, ряд задач приводит к применению таких систем, в которых одновременно имеют место колебания и электрические, и механические (электроакустика, область

пьезоэлектричества). Решение таких задач требует, помимо значительной физической эрудиции, еще и умения пользоваться соответствующим математическим аппаратом. Эти и подобные им обстоятельства привели к выделению из физики некоторой отраслевой дисциплины, называемой радиофизикой, которая является своего рода соединительным звеном между физикой и радиотехникой» [145. С. 318]. Из этого фрагмента можно сделать вывод, что разработка радиотехнических устройств и объяснение принципов их действия в рамках теории нелинейных колебаний привели к возникновению радиофизики. При этом акцент делается на теоретических основаниях (научном аспекте) этой науки.

Академик АН СССР А.А. Андронов, выступая перед абитуриентами радиофизического факультета ГГУ, отметил, что «одним из важнейших разделов физики в отношении практических приложений следует признать радиофизику. Короче всего радиофизику можно определить как научную базу радиотехники, как совокупность физических знаний, на которой основывается техника радиопередачи и радиоприема... Область технических и научных приложений радиофизики далеко не ограничивается радиотехникой... Радиофизическая аппаратура, возникшая для радиотехнических целей, стала незаменимым орудием исследования и в других областях физики и других науках о природе» [58. Л. 5, 8]. В этом фрагменте подчеркивается технический аспект радиофизики, а именно широкое использование радиофизических методов и устройств в различных областях науки и техники.

Обратимся теперь к мнению академика АН СССР А.Л. Минца. «Я лично никогда не чувствовал себя в силах провести четкую границу между радиотехникой и радиофизикой. Радиотехника — это наука об электромагнитных колебаниях высокой частоты и радиоволнах; отрасль техники, осуществляющая их применения для связи, вещания, передачи изображений, радиолокации, навигации, управления, астрономии и др. Термин радиофизика определяется следующим образом: это область физики, в которой изучаются физические основы радиотехники и смежных с нею отраслей техники. Наконец, термин радиоэлектроника объединяет комплекс многих отраслей знаний, родившихся из радиотехники и электроники. К радиоэлектронике относят радиосвязь во всех ее видах, радиовещание, телевидение, радионавигацию, инфракрасную сигнализацию, радиоастрономию, радиометеорологию, радиоспектроскопию, радиотелемеханику, промышленную электронику, электронно-

вычислительные машины, электронно-вакуумную технику, полупроводниковую технику и многое-многое другое. Из приведенных трех определений следует, что радиоэлектроника является наиболее широким термином, перекрывающим многие разделы радиотехники и радиофизики, но одновременно и наименее четким...» [351. С. 74–75]. Отсюда А.Л. Минц заключает, что «...границ, разделяющих радиотехнику, радиофизику и радиоэлектронику, или вовсе не существует, или они крайне условны и расплывчаты. В зависимости от научных интересов и личных склонностей ученых и инженеров они могут причислять себя к специалистам по технике, физике и электронике. Это определяется не сутью различий этих наук, а либо вкусом ученых, либо характером основного рода их деятельности» [Там же. С. 79].

В историю науки А.Л. Минц вошел как выдающийся ученый-радиофизик, инженер (под его руководством проектировались и строились мощные радиовещательные станции СССР; он принимал активное участие в создании РЛС дальнего обнаружения и синхрофазотрона в Дубне), организатор науки. Именно такой разносторонний и широко мыслящий специалист способен безошибочно охарактеризовать общие тенденции развития того или иного научного направления. А.Л. Минц указывает на значительную дифференциацию радиофизических идей и методов, их проникновение не только в различные области физики, но и технические дисциплины. Естественно, что это приводит к «размытию» предметной области радиофизики и вовлечению в сферу ее интересов теоретических представлений и практических приложений из других научных направлений.

По мнению советского радиотехника, одного из сотрудников НРЛ А.М. Кугушева, «современная радиоэлектроника занимается изучением и многочисленными практическими применениями электрических колебаний весьма широкого спектра от сверхнизких частот до частот, соответствующих миллиметровому диапазону электромагнитных волн. Научным содержанием современной радиоэлектроники являются три основных раздела: изучение вопросов излучения, передачи и распространения радиоволн, т. е. электромагнитных волн длиной от нескольких миллиметров до сотен километров; изучение взаимодействия электромагнитного поля со свободными электронами и молекулами; преобразование электрических колебаний в линейных и нелинейных цепях из одного вида сигнала в другой и прохождение электрических сигналов через такие цепи» [279. С. 663].

Из приведенного фрагмента можно сделать вывод о том, что теоретические и экспериментальные исследования электромагнитных волн проводятся в широких интервалах длин волн (частот). Это обстоятельство стимулирует изучение процессов усиления и генерации электромагнитного излучения различными системами (в том числе, квантовыми).

Академик АН СССР А.И. Берг предложил под термином радиоэлектроника понимать «все отрасли науки и техники, в основе которых лежат электронные процессы, происходящие на радиочастотах. Тогда в состав радиоэлектроники войдут: радиофизика, радиотехника, радиосвязь, радиовещание всех видов, радионавигация, радиолокация, радио-телемеханика, радиоастрономия, радиоспектроскопия, радиометеорология» [55. Л. 2–3]. В статье нижегородских радиофизиков А.А. Андропова и В.И. Гапонова «Радиофизика» [57. Л. 1] авторы обсуждают вопрос о том, какими профилирующими дисциплинами должен овладеть студент радиофизического факультета ГГУ, для того, чтобы стать высококвалифицированным ученым-радиофизиком. К ним, прежде всего, относятся теория колебаний, электроника и теория электромагнитного поля. В определенном смысле эти научные направления можно считать фундаментом радиофизики.

Кроме того, А.А. Андронов подчеркивает, что, только опираясь на радиофизические представления «можно разобраться в процессах, протекающих в лампах нового типа, магнетронах и клистронах и в свойствах объемных контуров и антенн новых типов. Радиотехника завтрашнего дня будет по настоящему доступна только тем, чьи знания будут покоиться на твердом фундаменте радиофизики... Область технических и научных приложений радиофизики далеко не ограничивается радиотехникой. Можно сказать, что рожденное физикой радио оказалось могучим и благодарным сыном, радиофизическая аппаратура, возникшая для радиотехнических целей, стала незаменимым орудием исследования и в других областях физики и в других науках о природе» [Там же. Л. 1].

В этом фрагменте высказывается уже знакомая идея об активной экспансии радиофизических идей и методов в другие направления физики и техники. Вместе с тем, А.А. Андронов особо подчеркивает, что только благодаря развитию радиофизических представлений удастся адекватно объяснить процессы, происходящие в различных радиотехнических устройствах (в том числе, СВЧ-приборах).

Один из крупнейших специалистов в области радиофизики, член-корреспондент АН СССР С.М. Рытов в предисловии к книге «Введение в статистическую радиофизику. Часть 1. Случайные процессы» приводит следующее определение предмета радиофизики. «Обычно к радиофизике относят радиоастрономию, радиоспектроскопию, электронику и электродинамику СВЧ, а также исследование электромагнитных свойств веществ, в особенности полупроводников, ферритов, плазмы и т. д. Но уже из этого перечня видно, что определение предмета радиофизики путем перечисления ее составных частей представляет собой довольно безнадежное дело. По-видимому, более целесообразно выделить те направления, которые позволяют уточнить предмет радиофизики на каждом этапе ее развития. Можно считать, что радиофизика охватывает в основном два направления:

1) Изучение физических явлений, существенных для радиосвязи (в широком ее понимании), т. е. для всех основных этапов всякой радиосвязи — генерации электромагнитных сигналов, излучения и распространения электромагнитных волн и, наконец, приема радиосигналов. Это направление можно назвать “физикой для радио”.

2) Изучение методами и средствами радиотехники самых разнообразных физических (и не только физических) объектов — атомных ядер, молекул, живых организмов, земной атмосферы, небесных тел и т. д. Это, коротко говоря, “радио для физики” [433. С. 12].

Таким образом, развитие радиофизики сопровождается открытием новых явлений, находящих практическое применение и составляющих основу ее новых направлений. В подтверждение этих слов следует сказать, что некоторые разделы радиофизики выделились в самостоятельные области физики (например, радиоастрономия, радиоспектроскопия, радиометеорология), где методы радиофизики выступают в роли средств изучения явлений, лежащих за ее пределами.

По поводу активного проникновения радиофизических методов в различные области науки и техники выдающийся ученый, автор фундаментального учебного курса «Колебания и волны. Введение в акустику, радиофизику и оптику» Г.С. Горелик писал: «Одна из ярких черт развития физики за последние 30 лет — то место, которое в ней завоевали радиофизические направления и методы исследования. Исследование электрических флуктуаций, частотной зависимости электрических, магнитных, механических свойств вещества, радиоспектроскопия, радиоастрофизика; изобилие

ламповых усилителей, электронных осциллографов, высокочастотных генераторов в акустических, оптических, ядерных и всевозможных других лабораториях; создание циклотронов и синхротронов — вот далеко не полный список примеров. ...Радиотехника предоставила в распоряжение физиков совершенно новые средства, революционизировавшие всю технику физического эксперимента. Радиофизический язык (например, термин “модуляция”) проникает в общефизическую терминологию» [172. С. 407].

Известный радиофизик М.А. Миллер в книге «Избранные очерки о зарождении и взрослении радиофизики в горьковско-нижегородских местах» приводит рассуждения о том, что представляет собой современная радиофизика. «Уже через два-три преемственных поколения (каждое по семь-десять лет) радиофизика стала не просто „физикой для радио и радио для физики" (это образное определение принадлежит Сергею Михайловичу Рытову), а вымахала за пределы, отпущенные ей при рождении: она проникла в акустику, в гидро-, гео- и астрофизику, в газо- и плазмодинамику, в твердотель, и уж конечно во все видимые, и невидимые диапазоны частот электромагнетизма... Практически всюду используются радиофизические методы исследований и диагностики» [347. С. 49–50].

Формулировки Г.С. Горелика и М.А. Миллера интересны в силу нескольких причин. Во-первых, эти ученые принадлежат к нижегородской (горьковской) радиофизической школе, всемирно известной своими широкомасштабными теоретическими и прикладными исследованиями вопросов радиофизики, выходящих далеко за рамки классической радиотехники. Во-вторых, в трактовках Г.С. Горелика и М.А. Миллера четко прослеживается мысль об активной экспансии радиофизических идей, методов и устройств в различные области науки и техники. В связи с этим относить к предмету радиофизики только вопросы, связанные с физическими основами радиотехники и смежных с нею отраслей техники, будет некорректно. Таким образом, требуется дать такое определение радиофизической науки, которое было бы адекватно ее современным достижениям и тенденциям развития.

В этом контексте необходимо привести формулировки термина «радиофизика» двух выдающихся ученых, академиков РАН А.В. Гапонова-Грехова (основателя и первого директора ИПФ) и А.Г. Литвака (нынешнего его директора).

Согласно А.В. Гапонову-Грехову, «радиофизика — наука о колебаниях и волнах

разной физической природы. Она включает в себя возбуждение колебаний и волн в неравновесных средах и системах, их излучение и распространение, взаимодействие со средой, регистрацию и обработку колебательных и волновых сигналов» [156. С. 28].

Как отмечает А.Г. Литвак, радиофизику следует понимать «как науку о колебаниях и волнах любой природы и диапазона — от низких частот сейсмоакустической волны, или волны на поверхности океана, включая цунами, до частот рентгеновского диапазона и гамма-излучения. Механизмы излучения, распространения в разных средах, взаимодействие с веществом, решение обратных задач, связанных с диагностикой, — все это предмет радиофизики в трактовке отечественной науки» [318. С. 9].

§ 1.1.2. Справочная литература по радиофизике

Согласно словарю радиолюбителя (автор — С.Э. Хайкин, ученик Л.И. Мандельштама), «радиофизика — это совокупность разделов физики, составляющих физические основы радиотехники и электроники» [451. С. 475].

В энциклопедии по радиотехнике даны следующие определения. «Радиотехника — наука об электромагнитных колебаниях и волнах длиной от десятков километров до десятых долей миллиметра, методах их генерации, усиления, преобразования, излучения, распространения, приема, помехоустойчивой обработки; отрасль техники, связанная с использованием электромагнитных колебаний и волн для передачи информации (системы связи, управления, радиовещания, телевидения), ее извлечения (радиолокация, радионавигация, научные исследования, технологические процессы), а также для радиопротиводействия передаче и извлечению информации» [417. С. 57].

«Радиофизика — раздел физики, в котором изучают физические основы радиотехники и электротехники, в том числе физические процессы, связанные с электромагнитными колебаниями в радиодиапазоне: их возбуждение, излучение, распространение, прием, преобразование, а также взаимодействие электрических и магнитных полей с носителями зарядов в вакууме, газах и твердых телах. Радиофизические методы исследования широко применяются в смежных областях науки (физике диэлектриков, физике полупроводников, геофизике, квантовой электронике, радиоспектроскопии и т. д.) и в технике при создании приборов с использованием перечисленных процессов» [Там же. С. 59].

«Радиоэлектроника — совокупность отраслей науки и техники, связанных с передачей, приемом и преобразованием информации с помощью электромагнитных волн. Термин радиоэлектроника является в определенной мере обобщающим, поскольку охватывает радиотехнику и электронику, а также ряд производных отраслей, которые выделились в результате их развития и дифференциации» [Там же. С. 59].

Приведем выдержку из толкового словаря по радиофизике под ред. Б.Н. Гершмана [466. С. 142]. «Радиофизика — достаточно общая и широкая область физики, рассматривающая физические процессы, связанные с генерацией, усилением, преобразованием, излучением, взаимодействием, распространением и приемом (включая обработку информации) не только электромагнитных волн и колебаний радиодиапазона, но и охватывающая своими подходами и методами исследования практически весь спектр колебаний и волн самой различной физической природы».

§ 1.1.3. Мнения авторов учебных курсов по радиофизике

Авторы ставшего настольным для многих поколений ученых-радиофизиков учебника «Введение в радиофизику» В.И. Калинин¹ и Г.М. Герштейн отмечают, что «радиофизика как самостоятельная дисциплина создалась в течение последних двух-трех десятилетий (книга издана в 1957 г. — *В.К.*). Содержание этой молодой науки, определявшееся в основном физическими основами техники электромагнитных колебаний, в послевоенные годы значительно расширилось и продолжает расширяться за счет сильного “взаимодействия” радиофизики с другими отраслями физических и механико-математических наук» [247. С. 11].

В учебном пособии В.В. Потемкина представлена следующая информация. «Радиофизика — наука о физических явлениях, методах передачи, приема и обработки информации с помощью электромагнитных колебаний и волн в системах

¹ Венедикт Иванович Калинин (1907–1960) — основатель и первый заведующий кафедрой радиофизики (1951–1960 гг.) Саратовского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор, автор первой в мире монографии «Дециметровые волны» (1935 г.), первых отечественных учебников «Введение в радиофизику» (1957 г.) и «Радиофизический практикум» (1955 г.), создатель научной школы в области физики и техники СВЧ-колебаний.

радиоэлектроники. К основам радиофизики относятся общие знания, которые необходимы для понимания и разработки как элементов различных радиофизических и радиотехнических систем, так и самих электронных систем. Важнейшими проблемами радиофизики являются генерирование, передача, прием, преобразование и использование электромагнитных сигналов» [406. С. 5].

Автор трактует предмет радиотехники и радиоэлектроники следующим образом. «Радиотехнику можно определить как область науки и техники, которая имеет дело с электромагнитными колебаниями в диапазоне от единиц герц до тысяч гигагерц, служащих для передачи информации в системах радиосвязи, радиолокации, телевидения и т. п. Термин “электроника” относится к области физики, связанной с теорией и практикой применения различных электронных приборов, основанных на управлении потоком заряженных частиц в твердом теле или разреженном газе. Синтез этих двух областей науки и техники привел к созданию более общей науки, получившей название радиофизики или радиоэлектроники» [Там же. С. 5–6].

В учебном пособии «Основы радиофизики», написанном сотрудниками кафедры физики колебаний МГУ Г.В. Белокопытовым, А.А. Беловым, И.В. Ивановым и др., указаны основные задачи радиофизики. Их можно сформулировать в виде следующих вопросов:

«Каким требованиям должны удовлетворять отдельные части (блоки) тракта для правильной передачи сигнала?»;

«Каковы принципы генерации и усиления электрических колебаний?»;

«Как осуществляется модуляция и демодуляция сигналов и их выделение на фоне шумов и помех?» и др. [376]

Авторы подчеркивают, что «характерной чертой радиофизики как области науки является то, что ее основные проблемы, в том числе и перечисленные выше, не имеют единственного решения, пригодного для любых обстоятельств. Освоение новых частотных диапазонов, создание новых типов элементов и приборов, появление новых требований к радиотехническим системам и новых принципов обработки сигналов — все это обуславливает постоянное обновление подходов к решению традиционных задач радиофизики» [Там же. С. 5].

Не претендуя на исчерпывающий обзор различных трактовок предмета радиофизики, сделаем ряд выводов и комментариев.

1) Традиционно к радиофизике относят вопросы, связанные с изучением и использованием электромагнитных колебаний и волн радиодиапазона (интервал частот от $3 \cdot 10^4$ Гц до $3 \cdot 10^{12}$ Гц): их возбуждение, распространение, прием, а также возникающие при этом взаимодействия электрических и магнитных полей с зарядами в вакууме и в веществе. На Западе такому представлению о радиофизике ограниченно соответствует термин «радионаука» («radio science»). Отметим, что термин «радиофизика» исторически возник в СССР и получил распространение в связи с созданием радиофизического факультета ГГУ. Как отмечал М.А. Миллер, «ни в какой иностранной энциклопедии такого сочетания не было и по сей день. Оно — наше! родное!» [347. С. 48].

2) Со временем методы радиофизики проникли и в другие диапазоны электромагнитных волн (от очень длинных до волн, соответствующих γ -излучению), а также в область волновых процессов не электромагнитной природы (например, в акустику). В современной радиофизике исследуются колебания и волны разной физической природы. Проникая во многие разделы науки, радиофизика привносит туда, помимо экспериментальных методик, также и теоретические представления. Радиофизический язык и терминология стали неотъемлемой частью общефизической терминологии. В качестве примера можно привести «интернациональный» (формулировка Л.И. Мандельштама) язык теории колебаний или «колебательная взаимопомощь» (по А.А. Андронову, изоморфизм процессов в колебательных системах различной физической природы).

3) Выдающиеся ученые-специалисты, стоявшие у истоков развития отечественной радиофизики (академики А.Л. Минц, Б.А. Введенский, А.А. Андронов, А.И. Берг и др.), считали ее физической основой радиотехники и смежных с ней отраслей техники. Но стремительный взлет физической науки и инженерной мысли, начавшийся примерно с середины XX в., их усиливающаяся интеграция, а также взаимопроникновение научных методов кардинально изменяют представления о предмете радиофизики, существенно расширяют его. Именно поэтому и возникает сложность при попытках охарактеризовать предметную область радиофизики. С полным основанием радиофизику следует считать междисциплинарной областью знания, так как ее методы широко используются в современной радиосвязи, при исследовании космического пространства, в медицине, геологии, оборонных технологиях, дистанционном мониторинге земной поверхности,

Мирового океана и атмосферы.

4) При изучении истории радиофизики в контексте научно-школьного подхода важно учитывать, что в основе этой науки лежат три научных направления: электродинамика, общая теория колебаний и волн, электроника. Это, по меткому выражению В.И. Гапонова, «три кита, на которых держится радиофизика» [347. С. 48].

5) Разные дефиниции радиофизики свидетельствуют о том, что в этом вопросе нет единого мнения даже у специалистов в этой области. В ходе историко-научных изысканий мы будем полагать, что радиофизика выступает своеобразным мостом между радиотехникой и физикой, обладает более широкой трактовкой изучаемых явлений и характеризуется активной экспансией методов в разные разделы современной фундаментальной науки и техники. Следует также учитывать, что развитие радиотехники предопределило формирование и развитие радиофизики. Однако, весь тот комплекс вопросов, который дал основание выделять радиофизику как самостоятельную науку, был разработан значительно позже.

6) На наш взгляд, трактовки предмета радиофизики, сформулированные А.В. Гапоновым-Греховым и А.Г. Литваком, наиболее адекватно отражают предмет радиофизической науки на современном этапе ее развития. На их основе можно более глубоко проанализировать связи между различными физическими явлениями и процессами, выявить в них радиофизическую составляющую, продемонстрировать широкий спектр применений этой науки, исследовать эволюцию основополагающих радиофизических идей, устройств, методов.

Кроме того, подход нижегородских ученых полностью согласуется с одной из «руководящих идей» Л.И. Мандельштама — об «интернациональном» языке теории колебаний, который можно с успехом применять к изучению колебаний (и волн) различной физической природы. В связи с этим при изучении научных школ в радиофизике мы будем придерживаться подобного «общеколебательного» (и «общеволнового») определения ее предмета.

§ 1.2. Характерные особенности и основания радиофизики как науки

Обзор предмета радиофизики будет не полным, если мы не рассмотрим характерные особенности, теоретические, экспериментальные и прикладные основания этой науки с учетом тенденций развития современной физики и техники [362].

Междисциплинарность научных исследований. Не секрет, что многие современные физические открытия и изобретения совершаются на стыке естественных наук. В этом отношении междисциплинарность является следствием единства физического мира, и предполагает существование взаимосвязи, преемственности, взаимопревращаемости различных объектов, изучаемых в естественных науках. Что касается радиофизики, то междисциплинарность в ней проявляется весьма активно. Примером единого подхода к изучению колебаний и волн различной физической природы, можно считать томографию, которая одновременно является ведущим разделом современной радиофизики, одним из основных методов неинвазивной диагностики и отдельным направлением в области получения и обработки информации. Томографические методы применяют в радиолокации и оптике, в медицине и физиологии, в геофизике, в химии и диагностике плазмы, в астрономии и т. д.

Применение методов вычислительной математики. Развитие современной физики происходит в условиях, когда компьютерные технологии становятся неотъемлемой частью физических исследований. В качестве примера можно привести методы компьютерного моделирования, использующиеся для изучения эффектов нелинейной динамики (например, хаотических явлений). Исследования в этой области направлены, в том числе, на построение математических моделей, в которых реализуется обработка информации с учетом особенностей перехода от порядка к хаосу. При этом именно радиофизические изобретения (прежде всего, в твердотельной электронике и квантовой радиофизике — интегральные схемы, гетероструктуры и приборы на их основе) позволили реализовать широкий спектр информационных технологий. В радиофизике их, в частности, применяют при создании компьютерных моделей различных колебательных и волновых процессов, алгоритмов обработки и визуализации получаемой информации и др.

Активная экспансия радиофизических методов и устройств. Об этой особенности уже говорилось выше в ходе анализа различных трактовок предмета радиофизики. Радиофизические методы широко используют при исследовании различных явлений и

процессов:

- в астрофизике (изучение космических объектов путем анализа приходящего от них радиоизлучения);
- в планетологии (радиолокация планет и их спутников);
- в спектроскопии атомов и атомных ядер (резонансные методы исследования, методы лазерной спектроскопии);
- в дистанционном мониторинге поверхности Земли и акваторий Мирового океана (исследование природных сред по собственному и отраженному радиоизлучению);
- в метеорологии (контроль за озоновым слоем Земли, облачными и грозовыми фронтами и осадками);
- в геологии (поиск минеральных месторождений, определение состава земных пород и их структуры радиолокационными методами);
- в спутниковой связи и мобильной телефонии;
- в медицине (ЯМР-томография) и др.

Усложнение экспериментальной базы. Значительные достижения современной физики получены с помощью сложных инженерных устройств, принципы действия которых часто основаны на недавно открытых физических явлениях, не в последнюю очередь, радиофизических. В качестве примера можно привести ускорители заряженных частиц. Для создания резонансного ускорения и обеспечения фазовых соотношений между положением частицы на любом участке траектории и ускоряющим радиочастотным полем в них используются радиоэлектронные системы (значительный вклад в их разработку внес А.Л. Минц).

Индустриализация современных физических исследований. Фактически, при изучении объектов макро-, микро- и мегафизики (условное деление материального мира и природы в зависимости от масштаба объектов изучения) наиболее важные результаты удается получить только с помощью инновационных индустриальных установок (ускорителей, телескопов, низкотемпературных устройств и т. п.), в которых всегда присутствует весомая радиофизическая составляющая. Здесь можно отметить такие технические объекты как спутники «СОБЕ» и «Планк», радиотелескоп в Аресибо, систему апертурного синтеза «VLA», сверхпроводниковые приборы и др.

Международная научная кооперация. В настоящее время практически все

крупные научные проекты реализуются при финансовой, технической и интеллектуальной поддержке нескольких государств (например, ускоритель заряженных частиц «LHC», термоядерный реактор «ITER», гравитационно-волновая обсерватория «LIGO»). В России создан крупнейший в мире наземно-космический радиointерферометр со сверхдлинной базой — «Радиоастрон». Его научным руководителем является Н.С. Кардашев — академик РАН, ученик И.С. Шкловского.

Основу проекта составляет наземно-космический интерферометр, состоящий из сети наземных радиотелескопов и космического радиотелескопа, установленного на космическом аппарате «Спектр-Р». Космический радиотелескоп с приемной параболической антенной диаметром 10 м был запущен 18 июля 2011 г. с космодрома Байконур. Космическая радиообсерватория работает как гигантская интерферометрическая сеть размером с околоземную орбиту с базой между спутником и системой наземных радиотелескопов. Используя такой интерферометр, можно получить исключительно высокое угловое разрешение и построить высоко детализированные изображения небесных объектов. В этом проекте участвуют радиоастрономические обсерватории США, Канады, европейских государств, Китая, Индии и Австралии.

Признание достижений радиофизики научным сообществом. Несмотря на то, что радиофизика — относительно молодая научная дисциплина (ее формирование пришлось на 1930–1940-е гг.), за работы в этой области часто присуждали Нобелевские премии. Анализ содержания радиофизических исследований, удостоенных Нобелевских премий по физике, позволил определить магистральные направления исследований радиофизики [287]. К ним относятся радиотехника, радиоспектроскопия, квантовая электроника, радиоастрономия. В Приложении 1 приведена таблица, в которой представлены имена лауреатов, формулировки Нобелевского комитета и год присуждения премии в области радиофизики.

В заключение приведем содержание теоретических, экспериментальных и прикладных оснований радиофизики (таблица 1). Их тесной взаимосвязью обусловлены развитие этой науки в XX–XXI вв., актуальность ее методов, теоретических концепций и экспериментальных методик для дальнейшего научно-технического прогресса. В совокупности с характерными особенностями указанные основания радиофизики позволяют дать более объективный взгляд на предмет этой науки.

Основания радиофизики

Теоретические	Экспериментальные	Прикладные
Теория электромагнитного поля Дж.К. Максвелла, теория нелинейных колебаний, теория волновых процессов, зонная теория твердых тел и др.	Опыты по обнаружению и исследованию свойств электромагнитных волн, разработка беспроводной телеграфии, открытие резонансных методов исследования, экспериментальные исследования А.М. Прохорова, Н.Г. Басова и Ч. Таунса по созданию мазеров и лазеров и др.	Использование разнообразных СВЧ-устройств (например, магнетронов, клистронов, ЛБВ, ЛОВ), радиолокационных и радиотехнических систем в различных областях науки и техники, оборонных технологиях. ЯМР-спектроскопия. Системы мобильной и спутниковой связи, методы дистанционного зондирования, радиоастрономическая аппаратура и др.

§ 1.3. История радиофизики как направление в истории науки

Радиофизика обладает высоким научным и техническим статусами, оказывает мощное влияние на развитие общества, представляет собой одно из активно развивающихся научных направлений. По этим причинам ее история требует более детального и системного изучения. Более того, историю радиофизики, на наш взгляд, следует рассматривать как самостоятельное направление в истории науки. Для этого необходимо определить предмет, цели, выработать возможные подходы (траектории) к изучению, разработать периодизацию этапов развития радиофизики.

Предметом истории радиофизики являются процессы возникновения и развития этой науки, ее теоретических, экспериментальных и прикладных оснований, эволюция фундаментальных радиофизических понятий и идей с учетом действия различных внутренних и внешних факторов.

История радиофизики преследует четыре основные цели.

- 1) Аккумуляция и систематизация научных фактов в области радиофизики.
- 2) Изучение воздействия различных социокультурных явлений, повлиявших на

становление и развитие радиофизики.

3) Выявление закономерностей развития радиофизической науки, позволяющих раскрыть ее эвристическую ценность для историко-научных исследований.

4) Определение возможных путей эволюции радиофизики в контексте современного научно-технического прогресса.

Обсудим возможные траектории изучения истории радиофизики [285]. Несомненно, радиофизика представляет собой важнейший элемент общечеловеческой культуры, так как ее открытия и достижения способствовали расширению возможностей и границ познания явлений природы. Приведем лишь несколько примеров. С помощью методов радиоспектроскопии исследователи получают ценную информацию о химическом составе, структуре, симметрии и внутренних взаимодействиях между структурными единицами вещества; создание экспериментальной базы и разработка методов радиоастрономии привели к эпохальным астрофизическим открытиям (например, реликтового излучения и его анизотропии, радиогалактик, квазаров, пульсаров, двойных пульсаров) изменениям в представлениях об устройстве Вселенной. Тем самым, история радиофизики является неотъемлемой частью истории науки и техники. Это — первая траектория ее изучения.

Учитывая стремительный рост научного знания, усложнение современных технологий, активную интеграцию научных исследований, радиофизика в историческом ракурсе должна изучаться не как система застывших догм, а как живой, динамично развивающийся организм. В связи с этим наряду с реконструкцией процесса формирования и развития радиофизики важно исследовать и современные достижения этой науки. В таком случае изучение процесса ее развития и определение главных его закономерностей позволят историку науки проследить эволюцию основополагающих радиофизических идей. Тем самым можно выделить вторую траекторию изучения истории радиофизики. В ее рамках историю радиофизики следует позиционировать как важнейшее направление в истории современной физики.

Попытаемся теперь ответить на следующий вопрос: «Какие возможности дают указанные траектории историку науки, приступающему к изучению процесса развития радиофизики?». Прежде всего, можно определить статус истории радиофизики. Ее следует рассматривать как отдельное направление в истории физики, в частности, и как важнейший элемент общей истории науки и техники, в целом [286]. Поэтому в ходе

исследования истории радиофизики необходимо использовать методы и подходы, принятые в истории науки, а также учитывать тот факт, что радиофизика — важнейшее направление современной физики, обладающее ее характерными особенностями (см. § 1.2). Другими словами историк науки должен представлять, что, изучая историю радиофизики, он, с одной стороны, анализирует процесс ее формирования и развития, а с другой — на основе полученных знаний он может выявить реальные закономерности развития современной физики. Примечательно, что этот подход удачно используется в процессе преподавания истории радиофизики в вузе. Именно таким образом построен апробированный на факультете физики и информационных технологий ИФТИС МПГУ модульный курс «История радиофизики», предназначенный для студентов старших курсов, бакалавров, магистров и аспирантов физических специальностей. Программа этого курса приведена в Приложении 2.

При изучении истории радиофизики, как и любой другой исторической науки, первостепенное значение приобретает анализ различных источников информации. Какие печатные и электронные материалы, посвященные этому вопросу, может использовать историк науки? Их можно условно разделить на четыре категории.

К первой из них относятся работы, посвященные истории развития отдельного направления радиофизики. В качестве примеров можно привести книги: М.А. Быховского по истории развития теории связи, истории создания отечественных современных систем радиосвязи и телерадиовещания [120; 121], В.М. Родионова, посвященную предыстории радиотехники и анализу развития основополагающих идей в этой области [425], книгу В.П. Борисова, содержащую материалы из истории отечественной радиоэлектроники [116], коллективную монографию по истории развития отдельных направлений радиоастрономии в СССР [418] и др.

Отметим также сборники статей, посвященные актуальным научно-техническим достижениям отечественных ученых в области радиотехники и электроники, например, [3]. До 1985 г. такие сборники выходили под редакцией А.Д. Фортуненко — выдающегося отечественного инженера и организатора разработок радиорелейных и спутниковых систем связи и систем вещания, возглавлявшего с 1957 по 1976 гг. НИИР. Фрагменты о формировании и развитии важнейших направлений радиофизики также приведены в материале А.Л. Минца [351], книгах Л.А. Арцимовича [94], брошюре В.А. Лешковцева [317], очерках Э.В. Шпольского [522].

Вторую категорию источников литературы по истории радиофизики составляют биографические материалы об ученых-радиофизиках (например, книги о жизни и научной деятельности А.С. Попова [453], Л.И. Мандельштама [401], Е.К. Завойского [515], М.А. Леонтовича [211], А.А. Андропова [111] и др.).

В брошюре А.С. Лонгинова и В.И. Старикова [323] рассмотрены биографии советских и зарубежных ученых (А.И. Берга, Б.А. Введенского, С.А. Векшинского, А.Л. Минца, С.Э. Хайкина, М. Райла и др.), внесших значительный вклад в развитие радиофизики и радиоэлектроники, и награжденных за научные достижения Золотой медалью им. А.С. Попова.

В рамках серии «Выдающиеся ученые физического факультета МГУ», были изданы научно-биографические материалы о С.П. Стрелкове [459], К.Ф. Теодорчике [295], В.В. Мигулине [294], В.К. Аркадьеве [275]. Значительный интерес представляет также серия «Личность в науке», которую организовали сотрудники музея радиофизического факультета Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского. В разное время были опубликованы каталоги, содержащие биографические сведения, архивные материалы и описания научных результатов деятельности М.Т. Греховой [194], А.А. Андропова [195], Г.С. Горелика [191], В.С. Троицкого [192], В.Л. Гинзбурга [193].

В 2003 г. была издана биографическая энциклопедия «Отечественная радиоэлектроника» (в двух томах) [378; 379], в которой приведены биографии ученых-радиофизиков, работавших и продолжающих работать на предприятиях радиоэлектронного комплекса.

В книге М.А. Быховского [461] представлены очерки о жизни крупных отечественных ученых-радиотехников и радиофизиков (в том числе, А.И. Берга, А.Л. Минца, Б.А. Введенского, В.И. Сифорова, А.Д. Фортушенко, Ю.В. Гуляева). Краткие биографии отечественных радиотехников и радиофизиков приведены в справочнике Ю.А. Храмова [513], на сайте электронной библиотеки «Научное наследие России» [535], сайте «Ретро радиоэлектроника на лампах и транзисторах» [419].

Третью категорию публикаций по истории радиофизики образуют некоторые периодические издания, на страницах которых можно найти материалы об истории радиофизических открытий и их творцах. Историко-научные и научно-биографические материалы содержатся также в журналах «Успехи физических наук» (например, [438;

474]), «История науки и техники» (например, [166; 92]), «Электросвязь: история и современность» (например, [345; 119]), «Известия вузов. Радиофизика» (например, [286; 289]), «Успехи современной радиоэлектроники» (например, [439; 537]) и др.

К четвертой категории изданий по истории радиофизики относится учебная литература (учебники, учебные пособия, методические разработки). В 2011 и 2013 гг. вышли в свет два учебных пособия: «Избранные вопросы истории радиофизики. Том I» [283] и «Избранные вопросы истории радиофизики. Том II. Современные достижения» [284]. В них отбор историко-физического материала был выполнен на основе анализа Нобелевских премий, присужденных в области радиофизики. При построении содержания учитывались также обозначенные выше траектории к изучению истории радиофизики. В первой книге рассказано о научных биографиях ученых, внесших решающий вклад в становление радиофизики как науки и удостоенных за свои достижения Нобелевских премий, о научной деятельности отечественных радиофизиков, об исторических этапах развития магистральных направлений радиофизических исследований.

Во втором пособии представлен обзор современных достижений в этих областях, а также важнейших открытий в физике и технике терагерцового излучения, в лазерной спектроскопии (здесь учитывается междисциплинарность научных исследований). В книге также обсуждаются результаты, полученные научной радиофизической школой, функционирующей на КОЭФ МПГУ.

В 2014 г. был издан учебник «История и методология физики», предназначенный для магистров [228], в котором истории радиофизики отведена отдельная глава. В 2017 г. было опубликовано учебное пособие «История радиофизики», представляющее собой модульный курс для магистров [229]. Его содержание образуют модули, посвященные истории развития определенного радиофизического направления от его формирования до современного уровня исследований.

Несмотря на то, что приведенные пособия преследует, прежде всего, образовательные цели, в них отражена история развития ключевых радиофизических идей и методов. Кроме того, материал в них изложен преимущественно на качественном уровне (без излишней математизации). С одной стороны, факты из биографий ученых, знакомство с их научной деятельностью, взглядами, интересами, убежденностью при отстаивании своих идей, поисками путей познания истины позволяют показать

учащимся в обобщенной форме процесс формирования научных понятий, законов и фундаментальных теорий, выявить конкретные причины заблуждений в историческом процессе развития радиофизики. С другой стороны, историко-физическая интерпретация способствует пониманию процессов возникновения и развития современных радиофизических идей и раскрывает их перспективность в теоретических и прикладных исследованиях.

Одной из важных проблем в истории науки является составление периодизации. С помощью нее можно проследить эволюцию основополагающих научных идей и методов на определенных временных отрезках, выявить тенденции развития, раскрыть движущие факторы науки и поворотные моменты. В развитии радиофизики можно выделить несколько этапов. Кратко охарактеризуем каждый из них, указав хронологические границы и важнейшие достижения.

Для фиксации ключевых дат мы воспользуемся книгой Ю.А. Храмова [510] и хронологией значимых событий, открытий и изобретений в области радиотехники, составленной В.К. Марченковым и В.А. Урваловым [1. С. 368–381]. Для историко-научного описания этапов развития радиофизики использованы такие библиографические источники, как учебные курсы П.С. Кудрявцева [290], Б.И. Спасского [456], Я.Г. Дорфмана [207], В.А. Ильина и В.В. Кудрявцева [228], В.П. Милантьева [346], книги В.М. Родионова [425], Э. Уиттекера [470], Л.И. Золотинкиной [225], В.М. Дукова [208], Б.Г. Кузнецова [293], G.R.M. Garratt [541], статьи А.Л. Минца [351], В.В. Мигулина [1] и др. При рассмотрении достижений магистральных направлений радиофизических исследований мы будем использовать энциклопедии [305; 306], а также материалы учебников и пособий [283; 284; 229].

Этап I. Формирование теоретических и экспериментальных предпосылок для создания теории электромагнитного поля

Хронологические рамки: с 1820 по 1857 гг.

Открытие закона Кулона (1785 г.) завершает длительный процесс становления электростатики. Дальнейшее развитие учения об электричестве и магнетизме связано с возникновением электродинамики. Первые работы в этом направлении были выполнены в XVIII в. Они связаны с именами Л. Гальвани, прославившегося открытием «животного электричества», и А. Вольта, изобретателя первого источника электрического тока. В 1820 г. Х. Эрстедом было обнаружено магнитное действие тока и установлена связь

между электрическими и магнитными явлениями. Это открытие вызвало целую лавину исследований. И. Поггендорф, Ж.Б. Био, Ф. Савар, П.С. Лаплас и другие исследователи, не только повторили опыты Эрстеда, но также открыли множество новых фактов. В частности, был установлен закон взаимодействия между элементами тока и намагниченной точкой (закон Био — Савара — Лапласа). Тем самым, был заложен первый камень в фундамент нового раздела физики — электродинамики.

Сам термин «электродинамика» ввел А.М. Ампер. Вершина его научного творчества — создание теории электродинамики. А.М. Ампер вводит новые понятия «электрический ток», «электрическое напряжение», «электрическая цепь», устанавливает направление тока в электрической цепи. Он же предлагает термин «гальванометр», понимая, что установленные им фундаментальные законы дают возможность измерять параметры электрического тока. Обобщающим трудом А.М. Ампера стала «Теория электродинамических явлений, выведенная исключительно из опыта» (1826 г.). Она подытожила проведенные им электродинамические исследования. Теория А.М. Ампера представляет собой применение феноменологического метода Ньютона к электродинамическим явлениям. А.М. Ампер поставил перед собой задачу получить дифференциальный закон, описывающий силы взаимодействия между бесконечно малыми отрезками электрической цепи (элементами тока). Важно, что элементарные взаимодействия двух элементов тока не удовлетворяют третьему закону Ньютона. Впрочем, то обстоятельство, что в физике был открыт новый тип сил, отличный от гравитационных, электростатических и магнитных сил, было уже ясно из опыта Эрстеда. Однако сам А.М. Ампер искал свой закон в рамках механических представлений И. Ньютона.

Созданная А.М. Ампером теория электродинамики основывалась на теории дальнего действия, которая затем была отвергнута наукой. Тем не менее, историческое значение его работы велико — на протяжении нескольких десятилетий она играла ведущую роль в учении об электромагнетизме.

К важнейшим событиям в электродинамике следует также отнести: открытие явления термоэлектричества (1821 г.) Т. Зеебеком, экспериментальное установление закона, связывающего сопротивление электрической цепи, напряжение и силу тока (закон Ома, 1826 г.; в 1827 г. он был получен теоретически), закона теплового действия тока (закон Джоуля — Ленца, 1841–1842 гг.). В 1843 г. Ч. Уитстон применил закон Ома

при конструировании измерительного «мостика», хотя законы распределения токов в разветвленных цепях были выведены Г. Кирхгофом лишь в 1845 г.

Наиболее важные открытия в области электромагнетизма в этот период были совершены М. Фарадеем. Первое его значительное достижение — открытие законов электролиза (1833 г.). Вскоре М. Фарадея заинтересовало магнитное поле вокруг тока, которое может дать возможность механического вращения. После этого он поставил перед собой задачу: превратить магнетизм в электричество. Это привело М. Фарадея к открытию в 1831 г. явления электромагнитной индукции. Отметим, что Дж. Генри также наблюдал это явление, но результаты исследований электромагнитной индукции первым опубликовал М. Фарадей. Дж. Генри известен также тем, что он впервые наблюдал явление самоиндукции (1832 г.).

М. Фарадей встретился со значительными трудностями при попытке установить общее правило, определяющее направление индукционных токов в контуре. Оно, как известно, было установлено Э.Х. Ленцем (правило Ленца, 1834 г.). Кроме того, в ходе экспериментальных исследований М. Фарадей разъяснил физическую сущность эффекта магнитного вращения, обнаруженного Д. Араго в 1824 г. Этот эффект заинтересовал М. Фарадея как потенциальный источник технических приложений. Впоследствии были сконструированы электродвигатель и динамомашинка, ставшие важнейшими практическими приложениями явления электромагнитной индукции.

Научные достижения М. Фарадея в области электродинамики регулярно публиковались в статьях, которые впоследствии составили трехтомный труд «Экспериментальные исследования по электричеству». Для истории физики важно не только перечисление достижений Фарадея. Еще более важно то, что он пришел к установлению фундаментально новой идеи — идеи поля (его концепция сформулирована в 1852 г.). Другие экспериментальные работы М. Фарадея в области электродинамики посвящены исследованиям магнитных свойств различных сред. В частности, в 1845 г. им были обнаружены явления диамагнетизма и парамагнетизма.

Открытие различных электромагнитных явлений привело к необходимости разработки теоретических концепций, которые бы их описывали. Попытки построения феноменологической теории электромагнитных явлений предпринимали Ф. Нейман, Г. Фехнер, В. Вебер. Так, В. Вебер вывел закон взаимодействия движущихся зарядов. При этом в полученной им формуле фигурировали не только знаки и величины этих зарядов,

но и их относительная скорость перемещения. В. Вебер не учитывал конечности скорости взаимодействия — он считал, что силы действуют мгновенно, вне зависимости от расстояния. Однако В. Вебер, Ф. Нейман, Г. Фехнер рассматривали только силы, приложенные к проводникам и к содержащимся в проводниках «зарядам», абстрагируясь от явлений, происходящих вне этих проводников. Как известно, М. Фарадей предположил, что силы пронизывают все пространство и ввел метод изображения магнитного поля с помощью силовых линий.

Идеи М. Фарадея в течение долгого времени остававшиеся непризнанными, получили математическое оформление в теории электромагнитного поля, созданной Дж.К. Максвеллом.

Этап II. Разработка теории электромагнитного поля

Хронологические рамки: с 1857 по 1865 гг.

Свои идеи об электромагнетизме Дж.К. Максвелл начал обдумывать с 1857 г., когда им была написана статья «О фарадеевских силовых линиях» (именно с этого года и датировано начало второго этапа развития радиофизики). В ней он широко использует гидродинамические и механические аналогии. Это позволило Дж.К. Максвеллу применить математический аппарат У. Гамильтона, и выразить электродинамические соотношения на математическом языке. В дальнейшем на смену гидродинамическим аналогиям приходят методы теории упругости, понятия деформации, давления, вихрей. Исходя из этого, Дж.К. Максвелл приходит к уравнениям поля, которые на этом этапе еще не сведены к единой системе. Именно в это время, исследуя диэлектрики, он вводит понятие о токе смещения (1861 г.), а также, пока еще туманным образом высказывает мысль о связи света и электромагнитного поля («электротонического состояния» в фарадеевской формулировке, которую Максвелл тогда использовал).

Статья «О фарадеевских силовых линиях» требовала продолжения, так как не все электродинамические представления удалось подчинить электрогидравлическим аналогиям. Так, в их рамки не укладывался закон электромагнитной индукции. Нужно было придумать вспомогательный механизм, облегчающий понимание процесса, отражающий одновременно и поступательное движение токов, и вращательный, вихревой характер магнитного поля. Созданная Дж.К. Максвеллом механическая модель позволила получить следующий вывод: изменение электрического поля приводит к появлению магнитного поля, т. е. к положению, полностью симметричному

фарадеевскому, когда изменение магнитного поля приводит к появлению поля электрического.

Следующая статья Дж.К. Максвелла, посвященная электричеству и магнетизму — «О физических силовых линиях» (1861–1862 гг.). В ней он, в частности, отмечает сходство двух сред: «светоносной» и «электрической». Тем самым, Дж.К. Максвелл постепенно приближается к своему выдающемуся открытию — открытию электромагнитной теории света. В статье «Динамическая теория электромагнитного поля» (1864–1865 гг.) он впервые использовал термин «электромагнитное поле». «Электромагнитное поле — это та часть пространства, которая содержит в себе и окружает тела, находящиеся в электрическом или магнитном состоянии» [325. С. 253].

Основной труд Дж.К. Максвелла «Трактат об электричестве и магнетизме» впервые вышел в свет в 1873 г. Содержанием этой книги были, прежде всего, упомянутые статьи по электромагнетизму. В «Трактате» систематически даются основы векторного исчисления, затем следуют четыре части: электростатика, электрокинематика, магнетизм, электромагнетизм. Одна из глав «Трактата» называется «Основные уравнения электромагнитного поля». В ней содержатся уравнения электромагнитного поля, полученные с помощью векторного исчисления. Учитывая, что они являются теоретическим базисом радиотехники и радиофизики, кратко рассмотрим физический смысл уравнений Максвелла.

Первое уравнение Максвелла выражает тот факт, что источниками магнитного поля являются токи и изменяющееся со временем электрическое поле. Гениальной догадкой Дж.К. Максвелла было введение им принципиально нового понятия (тока смещения) в качестве отдельного слагаемого в обобщенный закон Ампера:

$$\operatorname{rot}\vec{H} = \frac{4\pi}{c} \vec{j} + \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{D}}{\partial t},$$

где \vec{H} — вектор напряженности магнитного поля, \vec{j} — вектор плотности электрического тока, в который Максвелл добавляет ток смещения, c — некоторая постоянная.

Второе уравнение Максвелла отражает закон электромагнитной индукции Фарадея:

$$\operatorname{rot}\vec{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t},$$

где \vec{E} — вектор электрического поля, $\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$ — изменение магнитного поля во времени, c — некоторая постоянная.

Необходимо учесть еще одно важное свойство векторов электрической и магнитной индукций \vec{E} и \vec{B} . В то время как линии электрического поля начинаются и заканчиваются на зарядах, являющихся источниками поля, линии магнитного поля являются замкнутыми. Поэтому Дж.К. Максвелл добавляет к двум уравнениям еще два:

$$\operatorname{div} \vec{D} = 4\pi\rho,$$

где ρ — плотность электрических зарядов.

$$\operatorname{div} \vec{B} = 0.$$

Третье уравнение Максвелла выражает закон сохранения заряда, четвертое уравнение Максвелла — вихревой характер магнитного поля (или отсутствие в природе магнитных зарядов).

Входящие в рассмотренные уравнения векторы электрической и магнитной индукции и векторы напряженностей электрического и магнитного полей связаны материальными уравнениями:

$$\vec{D} = \varepsilon\varepsilon_0\vec{E}$$

$$\vec{B} = \mu\mu_0\vec{H},$$

где μ — магнитная проницаемость среды, ε — диэлектрическая постоянная.

Кроме того, можно записать еще одно соотношение, связывающее вектор напряженности \vec{E} и удельную проводимость γ :

$$\vec{j} = \gamma\vec{E}.$$

Для представления полной системы уравнений Максвелла необходимо также записать граничные условия. Этим условиям должно удовлетворять электромагнитное поле на границе раздела двух сред.

$$D_{2n} - D_{1n} = 4\pi\sigma,$$

$$B_{1n} = B_{2n},$$

$$E_{1\tau} = E_{2\tau},$$

$$[nH_2] - [nH_1] = \frac{4\pi}{c}i.$$

Здесь σ — поверхностная плотность электрических зарядов, а i — поверхностная плотность тока проводимости на рассматриваемой границе раздела. В частном случае,

когда поверхностные токи отсутствуют, последнее условие переходит в $H_{1\tau} = H_{2\tau}$.

Таким образом, Дж.К. Максвелл приходит к определению электромагнитного поля как вида материи, выражая его проявления в виде системы уравнений. Впоследствии О. Хевисайд и Г. Герц привели систему уравнений Максвелла к тому виду, который принят сейчас. Потенциал уравнений Максвелла далеко не исчерпан, на их основе появляются все новые работы, объяснения новейших открытий в различных областях физики — от сверхпроводимости до астрофизики.

Уравнения Максвелла позволяют сделать ряд важнейших выводов. Может быть главный из них — существование поперечных электромагнитных волн, распространяющихся со скоростью c . Первые измерения электродинамической постоянной c проводили немецкие ученые В. Вебер и Р. Кольрауш в 1856 г., которые нашли, что $c = 3,1074 \cdot 10^{10}$ см/с. Анализируя в «Трактате» их экспериментальные данные, Дж.К. Максвелл полагал, что полученное численное значение константы c несколько завышено. Впрочем, он не ограничился критикой работы В. Вебера и Р. Кольрауша, а в 1868 г. сам предпринял экспериментальную проверку числового значения константы c . Дж.К. Максвелл нашел, что неизвестное число c оказалось примерно равно отношению электромагнитной и электростатической единиц заряда — примерно 300 000 километров в секунду. Убежденный в универсальности своих уравнений, Дж.К. Максвелл показывает, что «свет есть электромагнитное возмущение».

Важнейшим следствием электромагнитной теории света было предсказанное Дж.К. Максвеллом давление света. Ему удалось подсчитать, что в случае, когда «в ясную погоду солнечный свет, поглощаемый одним квадратным метром, дает 123,1 килограмметра энергии в секунду, он давит на эту поверхность в направлении своего падения с силой 0,41 миллиграмма». Таким образом, теория Максвелла укреплялась или рушилась в зависимости от результатов еще не осуществленных экспериментов.

Этап III. Развитие теории электромагнитного поля. Открытие и исследование электромагнитных волн

Хронологические рамки: с 1865 по 1895 гг.

Со временем уравнения Максвелла как макроскопические уравнения электромагнитного поля обобщил Х. Лоренц, экстраполировав их на микроскопические (мелкомасштабные) электромагнитные поля, создаваемые отдельными заряженными частицами. В результате им была разработана классическая электронная теория (1880–

1892 г.), которая объяснила и предсказала много новых фактов и явлений. В частности, были получены выражение для силы, действующей на движущийся заряд со стороны электромагнитного поля (силы Лоренца), формула, связывающая показатель преломления вещества с его плотностью (формула Лоренца — Лоренца), а также разработана теория дисперсии света, объяснены ряд магнитооптических явлений (в частности, эффект Зеемана). В развитие классической электронной теории значительный вклад также внесли Дж.Дж. Томсон, М. Абрагам, А. Пуанкаре, Дж. Лармор и др. Свою теорию Х. Лоренц использовал и для разработки электродинамики движущихся сред, представляющей собой синтез теории электромагнитного поля Дж.К. Максвелла и классической электронной теории.

Важным событием в развитии теории электромагнитного поля Дж.К. Максвелла стали исследования Н.А. Умова. Он впервые ввел представление о пространственной локализации потока энергии (1874 г.). В работе «Уравнения движения энергии в телах» Н.А. Умов сформулировал выражение для потока энергии для общего случая, не применяя его к электромагнитному полю. В 1884 г. Дж.Г. Пойнтингом и независимо от него несколько позднее О. Хевисайдом была доказан теорема о переносе энергии электромагнитным полем. Так в электродинамике появился вектор Умова — Пойнтинга.

Решающую роль в признании теории электромагнитного поля Дж.К. Максвелла сыграл Г. Герц. В статье «О весьма быстрых электрических колебаниях» (1887 г.) он приводит описание проведенных опытов. Передатчиком в экспериментальных работах Г. Герца был генератор в виде индукционной катушки Румкорфа с искровым разрядником, излучающей антенной — вибратор (провод, в середину которого был введен искровой промежуток), приемником — резонатор в виде рамки. Для детектирования принимаемых волн в антенне-рамке был устроен миниатюрный промежуток, в котором при приходе волн от передатчика возникали искры. Другим вариантом приемника был также вибратор, но посередине его находился не источник волн, а также искровой промежуток, выполнявший функции индикатора (детектора) волн. Направленность приема, как и направленность передачи, достигалась при помощи параболического зеркала.

Анализируя результаты экспериментов, Г. Герц принимает теорию электромагнитного поля Дж.К. Максвелла и приходит к выводу о существовании электромагнитных волн, распространяющихся с конечной скоростью. Г. Герц получил

экспериментально предсказанные теорией Максвелла электромагнитные волны и, что не менее важно, доказал их тождество со светом. Для этого нужно было доказать, что с помощью электромагнитных волн можно наблюдать известные эффекты оптики: преломление и отражение, поляризацию и т. д. Г. Герц выполнил эти исследования, потребовавшие виртуозного экспериментального мастерства.

Опыты Герца произвели фурор в научном мире. Их многократно повторяли и варьировали. Одним из тех, кто это делал, был П.Н. Лебедев. Он получил самые короткие на тот момент электромагнитные волны (длины волн: 6 и 4 мм), и в 1895 г. проделал с ними опыты по двойному лучепреломлению. В своей работе Лебедев поставил задачу постепенного уменьшения длины волны электромагнитного излучения с тем, чтобы сомкнуть их с длинными инфракрасными волнами. Самому П.Н. Лебедеву этого сделать не удалось, однако это осуществили в 1920-х гг. А.А. Глаголева-Аркадьева и М.А. Левицкая.

Однако главная заслуга П.Н. Лебедева перед физикой в том, что он экспериментально измерил предсказанное теорией Максвелла световое давление. Изучению этого эффекта П.Н. Лебедев посвятил всю жизнь: в 1899 г. был поставлен эксперимент, доказавший существование давления света на твердые тела, а в 1907 г. — на газы.

Работы Герца — важнейший этап в предыстории радиотехники и радиофизики. Однако изобретенные им устройства (вибратор и резонатор) еще нельзя отнести к изобретению радио. Во-первых, сам Г. Герц не ставил перед собой такой задачи. Во-вторых, его приборы невозможно было использовать в качестве технического средства передачи сигналов. Кроме того, невысокая чувствительность приемника Г. Герца и неудобный способ наблюдения принимаемых сигналов позволяли осуществлять прием только на расстояния 8–10 м от передатчика.

Важнейшее после Герца научное достижение, которое в какой-то степени можно рассматривать как прототип первого радиоприемника, — экспериментальные работы Э. Бранли по изучению влияния электромагнитного поля на проводимость металлических порошков. Изобретение когерера — прибора, сопротивление которого резко изменяется под действием электромагнитного излучения, — принадлежит Э. Бранли. Однако при его использовании необходимо было каждый раз встряхивать опилки перед каждым приемом излучения. Более совершенный когерер, сконструированный О. Лоджем,

представлял собой стеклянную трубку, набитую металлическими опилками («трубку Бранли»), которые для восстановления чувствительности к электромагнитным волнам следовало периодически встряхивать. Для этой цели использовался механизм, похожий на электрический звонок. Прибор О. Лоджа мог быть использован для беспроводной телеграфии, но его создание еще нельзя назвать изобретением радио: когерер не обеспечивал достаточной надежности, а встряхивание опилок не было автоматическим после каждого сигнала.

Этап IV. Формирование и развитие искровой радиотехники, радиотехники незатухающих колебаний и вакуумной электроники

Хронологические рамки: с 1895 г. по 1930 г.

Обе эти задачи решил А.С. Попов. Он ввел в схему радиоприемника автоматическую обратную связь: от радиосигнала срабатывало реле, которое включало звонок, и одновременно срабатывал ударник, встряхивавший трубку с опилками. 7 мая 1895 г. на заседании русского физико-химического общества Попов выступил с докладом «Об отношении металлических порошков к электрическим колебаниям» и продемонстрировал созданный им первый в мире радиоприемник (рис. 1п²).

Этот день вошел в историю мировой науки и техники как день рождения радио. 24 марта 1896 г. Попов на заседании того же общества передал первую в мире радиограмму на расстояние в 250 м. Летом 1897 г. дальность беспроводной связи была увеличена до 5 км.

А.С. Попову принадлежит еще одно открытие, значение которого трудно переоценить. Во время опытов по радиосвязи на военных кораблях Балтийского флота летом 1897 г. было установлено, что электромагнитные волны отражаются от кораблей. А.С. Попов сделал вывод о возможности практического использования этого явления и задолго до возникновения радиолокации и радионавигации сформулировал важнейшие идеи для создания и развития этих направлений техники.

Таким образом, А.С. Попов научно обобщил и развил сделанные до него отдельные разрозненные открытия в науке и технике, нашел способы передачи сообщений на расстояние с помощью электромагнитных волн и практически применил свое открытие. Он не только изобрел первый в мире радиоприемник и осуществил

² Рисунки, к номеру которых добавлена буква «п», размещены в Приложении 3.

первую в мире радиопередачу, но и сформулировал основополагающие принципы радиосвязи. А.С. Попов предложил идею усиления слабых сигналов с помощью реле, изобрел приемную антенну и заземление. Кроме того, он осуществил первую в мире линию радиосвязи на море, создал первые походные армейские и гражданские радиостанции и успешно провел работы, доказавшие возможность применения радио в сухопутных войсках и в воздухоплавании.

Наряду с А.С. Поповым весьма схожее приемное устройство в сочетании с искровым излучателем Герца, модифицированным А. Риги, применил Г. Маркони в системе передачи на расстояние сигналов Морзе с помощью электромагнитных волн. Одним из главных отличий устройств, разработанных ученым, было применение антенн в виде высоко поднятого вертикального провода и заземления. Особенно важным было включение длинной антенны в блок-схему передатчика. Тем самым, был осуществлен переход к значительно более длинным волнам, чем в опытах Герца и Лоджа. 12 декабря 1901 г. Г. Маркони осуществил одностороннюю радиосвязь через Атлантический океан, а в 1907 г. была открыта первая трансатлантическая служба беспроводной связи. Успехи Г. Маркони привлекли к проблеме радиосвязи внимание ряда научных учреждений и административных органов связи в странах Европы и в США.

Наряду с повышением технического уровня радиоустройств уже в первые годы XX в. началось глубокое изучение колебательных и волновых процессов, происходящих в системах радиосвязи. Теоретические исследования проблемы распространения радиоволн вдоль земной поверхности, выполненные И. Ценнеком и А. Зоммерфельдом, не дали исчерпывающего объяснения механизма дальнего распространения радиоволн. Высказанная в 1902 г., после установления трансатлантической радиосвязи, независимо А. Кеннели и О. Хевисайдом гипотеза о существовании в верхней атмосфере ионизированных областей (ионосферы), способствовавших огибанию радиоволнами земной поверхности, привела к появлению теоретических работ по этой проблематике.

Значительный вклад в понимание колебательных процессов в искровых передающих устройствах внесли работы К.Ф. Брауна, а его исследования детектирующих свойств контактов ряда кристаллов, предложенные им кристаллические детекторы позволили максимально использовать возможности искровой радиотелеграфии. Кроме того, он изобрел катодно-лучевой прибор (кинескоп) для индикации формы электромагнитной волны. Впоследствии трубка Брауна (первый ее

вариант относится к 1897 г.) стала прообразом современных электронных осциллографов. К.Ф. Браун был занят также разработкой устройств беспроводной телеграфии, которую в Германии называли радиотелеграфией. Его успешную работу связывают с переходом к так называемым «сложным схемам», в которых искровой разрядник в передатчике и когерер (детектор) в приемнике были вынесены из цепи антенны в отдельные колебательные контуры значительной емкости с малым затуханием. Это позволило избавиться от затрат энергии на создание «искры» (что существенно повысило КПД передатчика), эффективно использовать явление резонанса, т. е. работать в узкой полосе частот и без взаимных помех.

В 1901 г. К.Ф. Браун опубликовал свои статьи по беспроводной телеграфии в виде буклета, озаглавленного «Беспроволочная телеграфия по воде и по воздуху». В следующем году он продемонстрировал первую функциональную передачу и прием направленной беспроводной связи, где использовались направленные передатчики и приемники (эти работы он проводил совместно с Л.И. Мандельштамом и Н.Д. Папалекси).

В 1909 г. К.Ф. Браун и Г. Маркони были удостоены Нобелевской премии по физике «в знак признания их вклада в создание беспроводной телеграфии». К этому времени А.С. Попова уже не было в живых.

Увеличение мощности передающих радиостанций до многих десятков и даже сотен киловатт потребовало оригинальных инженерных решений для обеспечения более эффективной работы искровых разрядников и управления их работой. Еще в 1893 г. Н. Тесла продемонстрировал открытый им способ получения электрических колебаний преобразованием постоянного тока в переменный с использованием дугового разряда. В 1888 г. он открыл явление вращающегося магнитного поля, на основе которого построил электрогенераторы высокой и сверхвысокой частот. В 1891 г. Н. Тесла сконструировал резонансный трансформатор, позволяющий получать высокочастотные колебания напряжения с амплитудой до 10^6 В.

К концу первого десятилетия XX в. стало ясно, что следует искать способы получения и использования не последовательностей быстро затухающих посылок радиоволн, а генерации и излучения незатухающих колебаний. Значительный период в истории радиотехники связан с применением передатчиков, основанных на использовании свойств вольтовой дуги — дуговых передатчиков. Выбором материалов

для электродов (например, медь и уголь), последовательным включением нескольких дуг, применением водородного или водяного охлаждения, воздействием на дугу магнитным полем и другими способами удалось получить колебания большой мощности с частотами до сотен килогерц. Благодаря относительно высокому КПД (по сравнению с искровыми) дуговые генераторы активно использовались на мощных радиостанциях дальних радиолиний. Подобные устройства создавались многими фирмами и применялись до 1920-х гг. на крупных радиостанциях мира. Усовершенствованные дуговые передатчики и генераторы применялись как для телеграфной, так и для телефонной радиосвязи вплоть до 1930 г. Одновременно с дуговыми генераторами на передающих станциях использовались мощные машинные генераторы. По сравнению с дуговыми, они имели ряд преимуществ: более высокий КПД, стабильность частоты, устойчивость и надежность в работе. Большой вклад в создание мощных высокочастотных машинных генераторов в России внес В.П. Вологдин, сконструировавший генераторы мощностью от 2 кВ · А (1912 г.) до 150 кВ · А (1925 г.), которые использовались на отечественных радиостанциях со статическими умножителями частоты.

Но, ни дуговые, ни электромашинные устройства не могли удовлетворить все более высоким требованиям, которые предъявляла развивающаяся радиотехника к генераторам радиочастот. Это привело к постепенному переходу к использованию устройств на радиолампах.

Формирование вакуумной (ламповой) электроники началось с момента, когда Т.А. Эдисон 21 октября 1879 г. продемонстрировал лампу накаливания с угольной нитью. Дж. Флеминг, изучая эффект Эдисона (явление термоэлектронной эмиссии), предложил первую радиолампу-диод (вакуумный диод), в которой накаленная нить являлась источником электронов (катод), а на второй электрод (анод) подавался небольшой положительный потенциал. Это устройство, запатентованное в 1904 г., стало первым электронным детектором радиоволн, преобразующим радиосигналы переменного тока в постоянный. В 1907 г. Л. де Форест предложил (и запатентовал) трехэлектродную электронную лампу — аудион (позднее известную как триод), которая позволила усиливать электрические сигналы, подводимые к третьему электроду — управляющей сетке.

Первые приборы Л. де Фореста имели очень низкое усиление, необходимы были

дополнительные исследования, чтобы превратить аудион в действительно эффективный усилитель. Этим новым устройством стала регенеративная схема Э. Армстронга, которую он реализовал на базе аудиона. В 1918 г. он почти одновременно с В. Шоттки предложил супергетеродинный приемник.

Регенерация за счет обратной связи стала важной вехой в использовании электронных ламп в радиотехнике. Видные ученые и инженеры разных стран (Л. де Форест, Э. Армстронг, К. Раунд, Дж. Флеминг, А. Мейсснер, Г. Арко и др.) в первые годы второго десятилетия XX в. предложили ряд схем с регенерацией. Однако высокая чувствительность и устойчивая работа таких схем реализовывалась лишь при приеме телеграфных сигналов, передаваемых незатухающими колебаниями. Прием же телефонных передач с высокой чувствительностью требовал точного поддержания уровня регенерации вблизи критического, при котором возникают собственные автоколебания. Поэтому в конце 1920-х — начале 1930-х гг. регенеративные радиоприемные устройства уступили место супергетеродинным с преобразованием частоты и стабильным усилением промежуточной частоты.

Наряду с созданием новых диодов и триодов, а позже и многоэлектродных электровакуумных приборов велись теоретические разработки возможностей применения радиоламп, в первую очередь, в радиоприемных устройствах. Ученые занимались усовершенствованием вакуумной техники, изучением процессов электронной эмиссии, поведения электронных потоков и возможностей управления ими. С полным правом можно считать, что именно на начальном этапе развития вакуумной электроники были заложены основы радиоэлектроники. Ученые из разных стран (И. Ленгмюр, В. Шоттки, О. Ричардсон, Р. Либен и др.) внесли основополагающий вклад в развитие радиотехники этого периода.

В 1913 г. А. Мейсснер запатентовал идею положительной обратной связи для самовозбуждающегося лампового генератора — нового метода генерации незатухающих электрических колебаний радиочастот с помощью радиоламп. Дальнейшее развитие этого направления зависело от успехов электровакуумной техники, так как для получения колебаний достаточной мощности потребовались специфические электронные лампы — генераторные. Для них характерны высокая эмиссия катода, значительные мощности на аноде и обеспечение отвода от анода большого количества выделяющейся теплоты.

Начало 1920-х гг. ознаменовалось двумя важными событиями. Первое из них — широкое использование радиотелефонии как средства массовой информации. Технические возможности создания радиоприемных устройств, доступных широкому кругу населения в сочетании с передачей вещательных программ по проводам, сделали радиотелефонию массовым средством распространения информации.

Второе событие — выяснение возможностей применения коротких радиоволн (длиной 100–10 м) для дальней радиосвязи. Широкое использование на первых этапах радиосвязи средних и длинных радиоволн (в сотни и тысячи метров) объяснялось как чисто техническими обстоятельствами, так и существовавшими тогда представлениями о механизме распространения радиоволн на большие расстояния. Кроме того, ряд экспериментов по установлению радиосвязи на коротких волнах на расстояния в сотни километров показал неустойчивость работы таких радиолиний и более заметное убывание интенсивности радиосигналов с расстоянием. Это привело к тому, что радиоволны короче 200 м считались неэффективными и применялись лишь в экспериментах радиолюбителей.

Но в начале 1920-х гг. появились сообщения об установлении радиосвязи на волнах длиной 100 м и менее на расстояниях несколько тысяч километров при мощностях передатчиков, измеряемых ваттами или десятками ватт. Подобные эксперименты стали возможными только с распространением ламповых радиоустройств, что соответствует началу 1920-х гг. В итоге начались исследования условий распространения коротких радиоволн. Теоретические представления А. Кеннели и О. Хейвисайда о существовании ионосферы были подтверждены в 1925 г. экспериментами Э. Эплтона и М. Барнета по интерференции земных радиоволн и волн, отраженных от ионосферы, и прямыми измерениями высот и других характеристик слоев ионосферы, выполненных импульсным методом Г. Брейтом и М. Тьювом.

В развитие вакуумной электроники весомый вклад также внесли ученые НРЛ. Они изучали вопросы генерации и использования высокочастотных незатухающих колебаний для передачи голоса человека, разрабатывали коротковолновые передатчики и остронаправленные антенны, новые типы генераторных ламп и радиотелефонные станции, преподавали в Нижегородском университете, организовывали радиотехнические выставки, издавали технические журналы. Отметим, что решающее влияние на развитие отечественной радиотехники и радиопромышленности в указанный

период оказали выдающиеся ученые — И.Г. Фрейман, А.И. Берг, В.К. Аркадьев, М.В. Шулейкин, Б.А. Введенский, А.Л. Минц и созданные ими научные школы. Этот вопрос мы подробно рассмотрим в главе 3.

Этап V. Формирование радиофизики как науки

Хронологические рамки: с 1930 по 1940-е гг.

Возникает закономерный вопрос, почему именно в указанный период времени зародилась радиофизика как наука? Для ответа на него рассмотрим внутренние и внешние факторы, оказавшие влияние на этот процесс.

Внутренние факторы. К началу 1930-х гг. был накоплен значительный материал в области теоретической и инженерной радиотехники, радиовещания, вакуумной электроники, который потребовал разработки адекватного физического и математического описания. Здесь можно привести образное сравнение А.А. Андропова. «Радио родилось из величайших достижений физической теории, над его колыбелью стояли тени гениальных мыслителей Фарадея, Максвелла и Герца... В годы своего младенчества радио больше всего нуждалось именно в экспериментаторах, умеющих независимо от теории искать новые технические средства. Вряд ли теория могла подсказать Бранли его когерер, Попову — его антенну, Маркони — дерзкую мысль бросить радиоволны в трансатлантический полет. Но младенец рос, и теоретическая, невинность становилась для него все более ощутимой помехой» [59. Л. 8].

Кроме того, с появлением электронных ламп (их вольт-амперные характеристики являются нелинейными) и автогенераторов незатухающих колебаний изучение нелинейных явлений стало актуальной задачей. В рамках теории линейных колебаний оказалось невозможным объяснить, почему в ламповом радиопередатчике небольшое увеличение сопротивления колебательного контура не влечет за собой прекращения колебаний. Дальнейшие исследования показали, что нелинейные системы представляют собой совершенно новый класс физических объектов, для которых характерны сильная зависимость от начальных условий и нарушение принципа суперпозиции. Кроме того, одна и та же нелинейная система при различных начальных условиях может совершать различные по своему характеру движения (в том числе, хаотические).

До начала 1920-х гг. исследования в области нелинейных колебаний велись главным образом в Германии под руководством Г.Г. Баркгаузена. Совместно с К. Курцем он создал генератор электромагнитных волн дециметрового диапазона. В 1920-х

гг. работы, посвященные нелинейным явлениям, были продолжены в Голландии Б. Ван дер Полем и в Англии Э. Эплтоном.

После измерения высоты ионосферы (см. выше) Э. Эплтон открыл второй непроводящий слой, расположенный на высоте 150 миль над поверхностью Земли. Большое сопротивление этого слоя, известного сейчас как слой Эплтона, позволяет ему отражать коротковолновые радиосигналы. Этим открытием Э. Эплтон установил возможность прямого радиовещания на весь мир. С помощью интерференции отраженных радиоволн и волн, распространяющихся вдоль поверхности Земли, британский ученый изучал строение и свойства высотных слоев ионосферы.

Б. Ван дер Полю вывел уравнение, описывающее автоколебания в ламповом генераторе. Для его решения он предложил метод медленно меняющихся коэффициентов (метод Ван-дер-Поля), который сыграл важную роль в развитии теории нелинейных колебаний (см. главу 4). Однако эти работы, дав ряд плодотворных идей, не привели к созданию общей теории нелинейных колебаний.

С начала 1930-х гг. масштабные работы по нелинейным колебаниям развернулись в СССР, что, несомненно, было заслугой Л.И. Мандельштама, Н.Д. Папалекси и их научной школы. А.А. Андронов, решая поставленную Л.И. Мандельштамом задачу создания строгой теории для идеализированной модели лампового генератора, нашел в работах Ж.А. Пуанкаре и А.М. Ляпунова основу математического аппарата, адекватного не только отдельным задачам, но всему циклу проблем нелинейных колебаний. Это позволило А.А. Андронову и его ученикам развить методы изучения незатухающих колебаний в нелинейных автономных системах, построив теорию автоколебаний.

Благодаря исследованиям нелинейных колебаний, проведенных школой Л.И. Мандельштама и Н.Д. Папалекси, наша страна стала общепризнанным центром исследований в этой области. Эти работы имели фундаментальный характер, так как современную радиофизику невозможно представить без генераторов, усилителей, СВЧ-приборов и других сугубо нелинейных устройств. Деятельность научных школ Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси и А.А. Андронova будет проанализирована в главе 4.

В рассматриваемый период в СССР возникло новое научно-техническое направление — радиолокация. В нашей стране у ее истоков стоял научный сотрудник ЛЭФИ П.К. Ощепков. В статье «Современные проблемы развития техники противовоздушной обороны», опубликованной в № 2 журнала «Противовоздушная

оборона» за 1934 г., им были сформулированы основополагающие принципы радиолокации.

В течение 1934–1936 гг. были разработаны и испытаны несколько систем радиолокационного обнаружения самолетов: в ЦРЛ — Ю.К. Коровиным, в ЛЭФИ — А.А. Чернышевым и Б.К. Шембелем, в ЛФТИ — Д.А. Рожанским, Ю.Б. Кобзаревым, П.А. Погорелко, Н.Я. Чернецовым, на заводе № 209 им. Коминтерна — П.К. Ощепковым. В 1935 г. ЛЭФИ был объединен с РЭИ (директор А.М. Кугушев) и преобразован в закрытую организацию НИИ-9 (научный руководитель М.А. Бонч-Бруевич). В 1935 г. А.Ф. Иоффе по настоянию УПВО организовал в ЛФТИ специальную лабораторию (под руководством Д.А. Рожанского) для работ по проблеме обнаружения самолетов. Под научным руководством Д.А. Рожанского и его ученика Ю.Б. Кобзарева были выполнены эксперименты по изучению рассеяния самолетами радиоволн метрового диапазона и разработан импульсный метод радиолокации применительно к задаче обнаружения самолетов на больших расстояниях. Об этих работах будет рассказано в главе 5.

Стремительный прогресс в радиолокации в значительной мере связан с изобретением электровакуумных приборов, прежде всего, магнетрона. В 1920-е гг. исследованиями в области генерирования СВЧ-колебаний с применением магнитных полей занимались А.А. Слуцкий и Д.С. Штейнберг (1926–1929 гг., СССР), К. Окабе и Х. Яги (1928–1929 гг., Япония). К 1936–1937 гг. мощность генераторов на основе магнетрона была увеличена в несколько раз (до сотен ватт на длине волны 9 см) путем создания многорезонаторного магнетрона (с использованием массивного медного анода с несколькими резонаторами и охлаждением). Авторы этого изобретения: М.А. Бонч-Бруевич, Н.Ф. Алексеев и Д.Е. Маляров. Многорезонаторные магнетроны широко используются в радиолокации в качестве задающих генераторов.

Итак, радиофизика оформилась в самостоятельное научное направление благодаря развитию радиотехники, СВЧ-техники, разработке теории нелинейных колебаний, появлению различных радиолокационных и радиоэлектронных систем. Обширный теоретический и экспериментальный материал, накопленный различными научными школами, потребовал консолидированного физического описания в рамках более широкой научной дисциплины, которой и стала радиофизика.

Здесь следует сделать одно важное уточнение. В процессе зарождения и

формирования этой науки в нашей стране важную роль сыграли и ученые, не ставшие руководителями научных школ. В качестве примеров можно привести работы:

- В.А. Фока по распространению радиоволн для плоской и сферической моделей Земли, однородной по глубине;
- М.А. Леонтовича по установлению соотношений между компонентами электромагнитного поля на поверхности проводящей среды («граничных условий Леонтовича»). При исследовании вопросов дифракции электромагнитных волн М.А. Леонтович ввел приближенное, так называемое параболическое уравнение, нашедшее впоследствии широкий круг применений.
- Е.Л. Фейнберга по теории распространения радиоволн вдоль неоднородной и неровной поверхности Земли;
- В.А. Котельникова по проблемам совершенствования методов радиоприема, изучению радиопомех и разработке методов борьбы с ними. К его важнейшим научным достижениям следует отнести создание теоремы отсчетов и теории потенциальной помехоустойчивости. Они широко используются при разработке систем обработки сигналов в системах связи, радиолокации, радионавигации и др.

Внешние факторы. Важную роль в процессе формирования радиофизики в нашей стране сыграли экономические, социокультурные и военные аспекты. Приведем несколько примеров. Во-первых, это необходимость быстрой электро- и радиофикации молодой советской республики. Во-вторых, правительство СССР было заинтересовано в военно-политических целях в создании эффективных методов обнаружения вражеских объектов радиотехническими методами. В-третьих, следует отметить энтузиазм молодых ученых, воспитанников научной школы Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси (А.А. Андронova и Г.С. Горелика), осознавших важность разработки новой научной дисциплины (радиофизики), которая сможет оказать мощное экономическое, научное и социокультурное влияние на развитие нашей страны. В 1931 г. А.А. Андронов переехал в г. Горький, где в 1945 г. открылся радиофизический факультет ГГУ. В его образовательную программу были включены такие специализации, как теория колебаний и автоматическое регулирование, распространение радиоволн и радиоастрономия, электродинамика и электроника СВЧ и др. Именно в г. Горьком сформировалась всемирно известная научная радиофизическая школа А.А. Андронova.

В совокупности указанные аспекты способствовали зарождению отечественной

радиофизики и появлению первых радиотехнических центров, к описанию которых мы приступим в главе 3.

Отметим также, что Вторая мировая война (и в не меньшей степени подготовка к ней) оказали значительное влияние на развитие радиофизики в разных странах. В качестве примеров можно привести использование радиолокаторов при отражении массированных налетов фашистской авиации на Москву (1941 г.), в знаменитом авиационном сражении Второй мировой войны — «битве за Англию» (1940 г.), уничтожение сети немецких РЛС на побережье Франции, что в значительной степени способствовало успешной высадке десанта союзников в Нормандии (1944 г.).

Угроза воздушных нападений стимулировала ряд ученых и инженеров (Э. Перселла, Р. Дикке и др.) к созданию радара и радиолокационных станций, которые были успешно использованы в боевых действиях. Ими был получен ценный опыт работы с микроволновой техникой, который был применен в фундаментальных исследованиях, например, при открытии и исследовании ЯМР (Ф. Блох, Э. Перселл и их сотрудники). Кроме того, радиолокационная техника, ее крупные антенные системы и высокочувствительные приемники в послевоенные годы во многом способствовали развитию радиоастрономии — одного из магистральных направлений радиофизики.

Этап VI. Дифференциация радиофизической науки и экспансия ее методов в различные области науки и техники

Хронологические рамки: с 1940-е гг. по настоящее время.

По мере развития радиофизики ее методы стали проникать в другие области физики. Возник и обратный процесс взаимодействия. Новые задачи, а также освоение диапазонов высоких частот привлекли в радиофизику идеи и методы из других областей физики, в частности из оптики (линзы, зеркала, интерферометры, поляроиды и т. д.), что привело к появлению нового раздела радиофизики — квазиоптики (квазиоптические линии передачи, открытые резонаторы и т. п.). В свою очередь, радиофизические методы, развитые, например, для сантиметрового диапазона длин волн, проникнув в оптику, заметно расширили возможности последней, вызвав к жизни такие разделы, как волоконная оптика, голография, интегральная оптика и т. п. Таким образом, и оптический диапазон частот стал областью приложения методов радиофизики.

В результате взаимных «обогащений» с другими областями физики, с одной стороны, и обособления отдельных разделов — с другой, внутри радиофизики

образовалось несколько других важных «дочерних» направлений: радиооптика, статистическая радиофизика, квантовая радиофизика, радиоспектроскопия и др. Появление этих магистральных направлений исследований можно с полным правом отнести к новому этапу в периодизации радиофизики.

Кратко рассмотрим предмет и историю возникновения магистральных направлений радиофизики — радиоспектроскопии, квантовой радиофизики и радиоастрономии.

Радиоспектроскопия как научное направление зародилась в экспериментах с молекулярными и атомными пучками. О. Штерн и В. Герлах использовали их для измерения скорости молекул и эффективных сечений их соударений друг с другом, а также для исследования явлений, обусловленных электронными спинами и магнитными моментами атомных ядер. Опыты Штерна — Герлаха (1922 г.) подтвердили существование у атомов спина и факт пространственного квантования направления их магнитных моментов.

В 1937 г. И.А. Раби использовал молекулярные и атомные пучки в разработанном им резонансном методе. Вначале этот метод применялся для измерения магнитных моментов ядер, а в дальнейшем стал основным методом радиоспектроскопии, позволившим измерить с большой точностью фундаментальные характеристики молекул, атомов и атомных ядер. К 1931 г. И.А. Раби удалось открыть собственную лабораторию для исследований молекулярных пучков. Впоследствии он создал научную школу, в которую вошли талантливые молодые физики. Четверо молодых людей, вышедших из лаборатории И. Раби, стали впоследствии Нобелевскими лауреатами. Это — У. Лэмб, П. Куш, Ч. Таунс, Н. Рамзей. Лаборатория И.А. Раби проработала до 1940 г. В 1937 г. Раби обнаружил, что, прикладывая слабый радиочастотный сигнал к молекулярному пучку в магнитном поле, можно заставить атомы изменять ориентацию спинов. Управляя частотой радиосигнала, можно выполнять прецизионные измерения спина ядра и напряженности собственного магнитного поля ядра. Первые же измерения Раби оказались примерно в 10 раз точнее, чем измерения, выполненные существовавшими ранее методами, а последующее усовершенствование позволило довести преимущество в точности до 1000-кратного.

В 1944 г. И. Раби был удостоен Нобелевской премии по физике «за резонансный метод измерений магнитных свойств атомных ядер».

А. Кастлер вместе со своим студентом Ж. Бросселем разработал несколько методов, в которых свет используется для преодоления некоторых ограничений метода Раби. Метод Кастлера получил название метода двойного резонанса. Метод Кастлера является средством точной фиксации положений подуровней возбужденных атомных состояний. В 1950 г. Кастлер сообщил о методе, получившем название оптической накачки и позволившем ему сдвигать электроны в атомах с одного магнитного подуровня основного состояния на другой. В дальнейшем этот метод лег в основу создания квантового генератора света — лазера. А. Кастлер был удостоен Нобелевской премии по физике 1966 г. «за открытие и разработку оптических методов исследования резонансов Герца в атомах».

Магнитный резонанс — явление взаимодействия между веществом и полем электромагнитного излучения. В процессе этого взаимодействия изменяются свойства как вещества, так и поля. В соответствии с этим методы детектирования магнитного резонанса можно подразделить на два класса: детектирование изменений, происходящих в веществе, и детектирование изменений, происходящих с полем. К первому классу относятся калориметрический метод Гортера, метод атомных пучков Раби и методы оптического детектирования. Ко второму классу методов детектирования принадлежат электронные методы, развитые Е.К. Завойским, Э.М. Перселлом и Ф. Блохом и их сотрудниками.

В 1940 г. Е.К. Завойский вместе с Б.М. Козыревым и С.А. Альтшулером предпринял попытку обнаружить резонансное магнитное поглощение электромагнитного поля на протонах в жидкости. И хотя результат исследований был отрицательным, данная работа сыграла важную роль в развитии радиоспектроскопии. Во-первых, это был очень смелый шаг, поскольку к тому времени были известны аргументы крупных физиков-теоретиков, которые, казалось, не оставляли надежды на успех эксперимента. Во-вторых, Е.К. Завойский применил принципиально новую методику эксперимента, которая составляет основу радиоспектроскопии до сих пор: вместо калориметрических измерений он использовал метод сеточного тока, чувствительность которого на несколько порядков выше. При этом впервые была применена модуляция магнитного поля переменным полем звуковой частоты. Первым результатом данного сотрудничества стало наблюдение Е.К. Завойским, С.А. Альтшулером и Б.М. Козыревым сигналов ядерного (протонного) магнитного резонанса

в мае–июне 1941 г. Однако проведению тщательных экспериментов по исследованию этого явления помешала война, полученные результаты не были опубликованы. ЯМР был открыт в 1946 г. американскими физиками Ф. Блохом и Э. Перселлом (независимо друг от друга), за что они были отмечены Нобелевской премией по физике 1952 г.

Как следует из документов, 21 января 1944 г. Е.К. Завойский впервые наблюдал на осциллографе сигнал ЭПР. В 1944 г. с помощью этой экспериментальной установки в КГУ он при исследовании поглощения электромагнитной энергии парамагнитными солями металлов, заметил, что, безводные хлорид хрома и карбонат марганца, двухводные хлорид меди и ряд других неразведенных парамагнитных солей, помещенные в постоянное магнитное поле 40 Гаусс (4 мТл) начинают поглощать микроволновое излучение с частотой около 133 МГц. Прямым доказательством резонансной природы наблюдавшихся пиков было закономерное смещение их по полю с изменением частоты.

Открытие ЭПР было одним из важнейших событий в физике XX столетия. Уже вскоре после опубликования первых работ Е.К. Завойского началось интенсивное развитие исследований в этой области. У нас в стране, в Англии, Франции, США и других странах мира на основе использования метода ЭПР возникли и выросли многие научные центры. Вслед за ЭПР были открыты ядерный магнитный резонанс, ферромагнитный резонанс, антиферромагнитный резонанс, ядерный квадрупольный резонанс, магнитный акустический резонанс, многие виды двойных резонансов. Возникла и выросла в крупную самостоятельную область науки магнитная радиоспектроскопия.

Микроволновая спектроскопия — область радиоспектроскопии, в которой исследуются спектры веществ в сантиметровом и миллиметровом диапазонах длин волн (микроволны или сверхвысокие частоты). Ключевые работы в этом направлении — исследования тонкой структуры водорода методами радиоспектроскопии (работы У. Лэмба и П. Куша), создание мазера и лазера, методов лазерной спектроскопии, разработка и применение СВЧ-устройств.

Открытия У. Лэмба и П. Куша побудили Дж. Швингера, С. Томонагу и Р. Фейнмана пересмотреть взгляды П. Дирака и сформулировать новую теорию, получившую название квантовой электродинамики, которая с высокой точностью предсказала лэмбовский сдвиг и экспериментальное значение магнитного момента

электрона, полученное П. Кушем и Г. Фоли.

В 1955 г. У. Лэмб был удостоен Нобелевской премии по физике «за открытия, связанные с тонкой структурой спектра водорода». Премию У. Лэмб разделил с П. Кушем, получившим награду «за точное определение магнитного момента электрона».

В настоящее время методы микроволновой спектроскопии применяют для получения из вращательных спектров сведений о строении и динамике молекул, их химическом и изотопном составе, а при действии электрических или магнитных полей — дипольных моментов, поляризуемостей и магнитных восприимчивостей молекул. Прецизионное измерение частот переходов в простейших квантовых системах позволяет оценить точность фундаментальных теорий. Микроволновые спектральные линии некоторых молекул и атомов наблюдают в космическом пространстве. С их помощью получают сведения о составе межзвездного вещества, химических процессах и физических условиях в различных областях космического пространства.

Радиофизические методы и устройства находят широкое применение в квантовой электронике (или квантовой радиофизике). Предметом ее изучения являются методы усиления и генерации электромагнитного излучения, основанные на использовании явления вынужденного излучения в неравновесных квантовых системах, а также свойства получаемых таким образом усилителей и генераторов и их применения в электронных приборах.

В первой половине XX в. в оптике преимущественно развивались квантовые представления, а в радиофизике — волновые. Общность радиофизики и оптики, обусловленная общей квантовой природой электромагнитных волновых процессов, не проявлялась до тех пор, пока не возникла радиоспектроскопия. Особенность радиоспектроскопических исследований состоит в использовании источников монохроматического излучения и в том, что в радиодиапазоне спонтанное излучение гораздо слабее, а возбужденные уровни заселены за счет теплового возбуждения уже при комнатных температурах ($T = 300 \text{ К}$). Это обстоятельство сказывается на резонансном поглощении радиоволн. Как раз при проведении радиоспектроскопических исследований и возникла мысль о том, что путем создания инверсии заселенностей уровней в среде можно добиться усиления радиоволн. Если же какая-либо система усиливает радиоизлучение, то при соответствующей обратной связи она будет генерировать это излучение. В квантовой электронике первым прибором, в котором

была реализована данная идея, стал мазер.

В 1964 г. «за фундаментальные работы в области квантовой электроники, которые привели к созданию излучателей и усилителей на лазерно-мазерном принципе» А.М. Прохоров, Н.Г. Басов и Ч. Таунс были удостоены Нобелевской премии по физике.

К середине XX в. проблема замены громоздких, энергоемких и недолговечных электровакуумных ламп стояла очень остро, и к ее решению одновременно подошло несколько исследовательских групп. В компании Bell Labs под руководством У. Шокли Дж. Бардин и У. Браттейн создали первый полупроводниковый усилитель, названный позже точечным транзистором.

У. Шокли буквально за неделю создал теорию инжекции и теорию *p-n*-переходов. Кроме того, он предложил заменить точечные контакты выпрямляющими переходами между областями *p*- и *n*-типа в том же кристалле. Такое устройство, получившее название плоскостного транзистора, было изготовлено в 1950 г. Именно на его основе были созданы первые микросхемы. В 1956 г. У. Шокли, Дж. Бардин и У. Браттейн получили Нобелевскую премию по физике «за исследования полупроводников и открытие транзисторного эффекта».

Задачи, которые стала решать во второй половине XX в. наука, промышленность, атомная энергетика, военная, ракетная и космическая техника, а также бурное развитие электронно-оптической связи, сети Интернет, бытовой электроники потребовали существенного усложнения электронной аппаратуры. Для того чтобы эта сложная электроника не стала недопустимо громоздкой и неэкономичной, потребовалась миниатюризация ее элементов, которая привела в конце 1950-х гг. к созданию интегральных микросхем и рождению микроэлектроники.

Возможность создания интегральной схемы продемонстрировали два молодых инженера, работавших независимо друг от друга, — Дж. Килби и Р. Нойс. Работая в компании Texas Instruments («Тексас Инструментс»), Килби сформулировал «идею монолита» (1958 г.), суть которой сводилась к тому, что такие элементы схемы, как резисторы, конденсаторы и транзисторы могут быть интегрированы в одну микросхему при условии, что они будут сделаны из одного материала. Первая работающая микросхема Килби представляла собой генератор с фазовым сдвигом (мультивибратор). 12 сентября 1958 г. было завершено изготовление первых трех генераторов этого типа. Когда было приложено напряжение, в первом из контуров возникла генерация на

частоте 1,3 МГц.

Достижение инженера из Техаса многими было встречено скептически. Специалисты указывали на неремонтопригодность микросхем. Но ситуация в корне изменилась благодаря двум приоритетным военным программам 1960-х гг. — подготовки полета космического корабля «Аполлон» на Луну и разработки ракеты «Минитмен». Использование интегральных схем в этих программах показало их работоспособность и экономичность.

Еще одним изобретателем интегральной схемы считается Р. Нойс. Он вместе с группой специалистов из компании Fairchild Semiconductor (название буквально переводится как «Полупроводник чудо-ребенка») разработали планарную технологию получения *p-n-p* (или *n-p-n*) слоев. Эта технология позволяет проще реализовать электрическое соединение элементов схемы, так как все рабочие слои выходят на одну плоскость. Соответствующий вариант микросхемы был разработан в январе 1959 г.

Исследования Р. Нойса привели к рождению микросхемы — пластинки с графическим лабиринтом дорожек из напыленных алюминиевых пленок, отделенных друг от друга изолирующим материалом.

С ростом требований к скорости обработки данных и передачи информации стало важным не только количество элементов в чипе, но и их быстродействие. Только частично новые запросы могли быть удовлетворены уменьшением размеров компонентов микросхемы и снижением их энергопотребления. Изобретение гетероструктур обусловило стремительную эволюцию информационных и коммуникационных технологий во второй половине XX в.

Гетероструктурным полупроводником называют полупроводник, состоящий из нескольких тонких слоев полупроводников с различной шириной запрещенной зоны. (толщина слоев лежит в диапазоне от нескольких атомов до нескольких микрон). Идея использовать вместо однородных полупроводниковых кристаллов искусственно синтезированные гетероструктуры из различных полупроводников была высказана еще Шокли в 1951 г.

Гетеропереход — контакт двух различных по химическому составу полупроводников с совпадающими (в идеальном случае) типами, ориентациями и периодами кристаллических решеток, не имеющих к тому же дефектов. Изучение гетеропереходов началось с работ американского физика Р. Андерсона, предложившего

модель идеального гетероперехода и теорию разрывов зон на гетерогранице, и Г. Кремера, опубликовавшего теорию широкозонного эмиттера для транзистора. Он предложил изменять состав полупроводникового соединения с координатой так, чтобы плавно изменять электронные характеристики, например ширину запрещенной зоны. Возникающее при этом «квазиэлектрическое» поле, в отличие от внешнего электрического поля и внутреннего электрического поля p - n перехода, может двигать электроны и дырки в одном и том же направлении. Эта идея нашла широкое применение в приборах на гетероструктурах. В 1957 г. Г. Кремер разработал проект гетероструктурного транзистора. В его теоретической работе было показано, что по ряду параметров гетеротранзистор может значительно превосходить обычный транзистор как при усилении тока, так и в высокочастотных схемах.

Решающий вклад в технологию получения и исследования гетероструктур и устройств на их основе внес Ж.И. Алферов. В отличие от Р. Андерсона, получившего гетеропереход Ge–GeAs, Ж.И. Алферов остановился на ДГС: AlAs–GaAs. В 1963 г. Ж.И. Алферов, Р.Ф. Казаринов и независимо от них Г. Кремер придумали конструкцию инжекционного лазера на ДГС, подобной структуре биполярного транзистора. Переломным моментом в физике и технологии гетероструктур следует считать реализацию в 1967 г. уникальной структуры GaAs–AlGaAs практически с полным взаимным соответствием параметров решеток. Это одновременно и независимо было сделано группой Ж.И. Алферова и Х. Руппрехтом и Дж. Вудолом в Исследовательском центре им. Уотсона (США). Благодаря наличию в ней эффектов сверхинжекции, оптического накопления и др. на этой структуре группой Ж.И. Алферова были созданы высокоэффективные светодиоды, солнечные элементы, биполярные гетеротранзисторы, тиристорные переключатели и другие устройства.

Настоящий взрыв интереса к гетероструктурам возник после того, как был достигнут режим непрерывной генерации при комнатной температуре в системе GaAs–AlGaAs. Сообщение об этом было опубликовано в 1970 г. независимо двумя научно-исследовательскими группами — Ж.И. Алферова с сотрудниками, а также Х. Кейси и М. Панишем из Bell Labs. Важным вкладом в расширение возможностей гетероструктур стало использование группой Ж.И. Алферова четверных твердых растворов полупроводников группы $A^{III}B^V$, например InGaAsP, позволившее независимо изменять параметры решетки и электронного спектра. На этой основе были созданы лазеры в

инфракрасной области спектра для волоконно-оптической связи и лазеры видимого диапазона.

В начале 1990-х гг. одним из основных направлений работ, проводимых под руководством Ж.И. Алферова, становится получение и исследование свойств наноструктур пониженной размерности: квантовых проволок и квантовых точек. В 1993–1994 гг. впервые в мире реализуются гетеролазеры на основе структур с квантовыми точками («искусственными атомами»). В 1995 г. Ж.И. Алферов со своими сотрудниками впервые демонстрирует инжекционный гетеролазер на квантовых точках, работающий в непрерывном режиме при комнатной температуре. Таким образом, исследования ученого заложили основы принципиально новой электроники на основе гетероструктур с очень широким диапазоном применения, известной сегодня как «зонная инженерия».

В 2000 г. Нобелевская премия по физике была присуждена исследователям, труды которых заложили основу современных информационных и коммуникационных технологий. Премия была поделена на две части с вручением половины Ж.И. Алферову и Г. Крёмеру, «за исследование полупроводниковых гетероструктур, которые нашли применение в высокочастотной и оптической электронике». Вторая половина премии досталась Дж. Килби «за вклад в изобретение интегральной схемы».

Итак, в процессе развития электронной компонентной базы произошел переход от электровакуумных ламп к транзисторам, а затем к интегральным схемам (чипам) и гетероструктурам, которые сегодня можно найти во всех электронных приборах. Высокочастотные малошумящие усилители на основе гетеротранзисторов применяются в спутниковых системах связи и для улучшения соотношения «сигнал/шум» в мобильной телефонии. Лазеры на основе гетероструктур используют для считывания информации с оптических дисков, гетероструктурные транзисторы стоят внутри каждого сотового телефона и т. д. Разработка гетероструктур и исследование их свойств позволило в конце 1960-х — начале 1970-х гг. произвести ряд высокоэффективных полупроводниковых приборов, включая гетеролазеры с низким порогом генерации и непрерывным режимом работы при комнатной температуре. В 1970 г. на основе гетероструктур были сконструированы солнечные батареи, промышленное производство которых позволило оснастить ими космические спутники и орбитальную станцию «Мир».

Бурное развитие радиофизики и радиотехники сделало возможным создание чувствительных приемных устройств и направленных антенн — радиотелескопов. Оказалось, также, что многие астрономические объекты или важные их свойства могут быть исследованы только на радиоволнах определенной длины. На стыке астрофизики и радиофизики возникла новая научная дисциплина — радиоастрономия.

Австралийский ученый Дж.Л. Поззи был одним из первых физиков, проводивших радиоастрономические исследования после окончания Второй мировой войны. В предисловии к первой в мировой литературе монографии «Радиоастрономия», написанной им вместе с Р.Н. Брейсуэллом приведено следующее определение радиоастрономии.

«Радиоастрономия — совершенно новая отрасль науки, возникшая на основе открытия радиоволн, доходящих до Земли из мирового пространства. Включая в себя астрономию, радиотехнику и некоторые вопросы теоретической электродинамики, радиоастрономия представляет специальный интерес для астрономов, радиоинженеров и радиофизиков. В то же время для широкого круга научных работников она привлекательна как новая, развивающаяся область науки» [Цит. по: 248. С. 443].

Источниками космического радиоизлучения являются практически все объекты Вселенной, а также вещество и поля, заполняющие межзвездное и межгалактическое пространство. Методы радиоастрономии позволяют с высокой точностью измерять расстояния до планет, периоды их вращения, осуществлять картографирование поверхностей планет, изучать характер радиоизлучения Солнца, исследовать природу солнечной активности, структуру магнитного поля Галактики и т. д.

Несмотря на то, что космическое радиоизлучение было открыто в 1932 г. К. Янским, а первый радиотелескоп был сконструирован Г. Ребером в 1937 г., систематическое развитие радиоастрономии началось уже после Второй мировой войны. Астрономы и инженеры поняли, что для исследования космического радиоизлучения нужны радиотелескопы гораздо больших размеров, чем антенны К. Янского и Г. Ребера. Уже в 1947 г. в Великобритании, в университете города Манчестера, был построен неподвижный параболический радиотелескоп диаметром 66 м. В 1950 г. с его помощью удалось зафиксировать слабое радиоизлучение от туманности в созвездии Андромеды. В 1957 г. вблизи Манчестера, в местечке Джодрелл-Бэнк был сооружен поворачивающийся 76-метровый радиотелескоп, в 1961 г. вступил в строй 64-метровый радиотелескоп в Парксе

(Австралия), а в 1962 г. — 92-метровый меридианный радиотелескоп обсерватории Грин-Бэнк (США).

Крупнейшим в мире радиотелескопом с заполненной апертурой является 305-метровый радиотелескоп с параболической антенной, построенный в 1963 г. в Аресибо (кратер потухшего вулкана), на острове Пуэрто-Рико. Одним из крупнейших радиотелескопов в мире также является РАТАН-600 (сокращение от РАдиоТелескоп Академии Наук) — радиотелескоп диаметром около 600 м, располагающийся в России недалеко от станции Зеленчукская (Северный Кавказ) на высоте 970 м над уровнем моря. В основу конструирования этого радиотелескопа была положена идея С.Э. Хайкина и Н.Л. Кайдановского, предложившие антенны переменного профиля для проведения радиоастрономических исследований.

Важным этапом развития инструментальной базы радиоастрономии стало появление радиоинтерферометров и создание метода апертурного синтеза. В 1950-е гг. для достижения более высокого углового разрешения астрономы начали использовать радиоинтерферометры — инструменты, которые состоят, как минимум, из двух разнесенных антенн, связанных между собой линией связи. Благодаря их использованию удалось определить точные координаты многих радиоисточников. Метод получения высокого углового разрешения при использовании радиоинтерферометров называется апертурным синтезом. Он был предложен в 1959 г. М. Райлом и его коллегами в Кембриджском университете. Проведенные ими исследования небесных радиоисточников, большинство из которых слишком далеки и слабы для того, чтобы их можно было обнаружить с помощью оптических телескопов, показали, что некоторые из наиболее интенсивных радиоисточников представляют собой квазары. В 1974 г. М. Райл и Э. Хьюиш были удостоены Нобелевской премии по физике «за новаторские исследования в радиоастрофизике». Премия М. Райлу была присуждена «за наблюдения и изобретения, в особенности за метод апертурного синтеза».

Наиболее мощными источниками радиосигналов во Вселенной являются радиогалактики и квазары. В настоящее время их мельчайшие детали наблюдают с помощью сети радиотелескопов, рассредоточенных по всему земному шару. Такой метод исследования в радиоастрономии, обеспечивающий исключительно высокое разрешение, называется РСДБ. Идею РСДБ предложили в 1965 г. Н.С. Кардашев —

ученик И.С. Шкловского, ныне академик РАН, Л.И. Матвеев и Г.Б. Шоломицкий. В настоящее время РСДБ широко применяют для решения астрометрических и астрофизических задач. Дальнейшим шагом в развитии радиоинтерферометрии со сверхдлинной базой стало создание сетей РСДБ из нескольких радиотелескопов, которые управляются из единого центра и наводятся на один объект; они могут работать в различных диапазонах длин волн.

Как уже отмечалось в § 1.2, в России создан крупнейший в мире наземно-космический РСДБ — «Радиоастрон», научным руководителем которого является Н.С. Кардашев. Космическая радиообсерватория работает как гигантская интерферометрическая сеть размером с околоземную орбиту с базой между спутником и системой наземных радиотелескопов. Используя такой интерферометр, можно получить исключительно высокое угловое разрешение и построить высоко детализированные изображения космических объектов.

Методы и инструментальные возможности радиоастрономии позволили совершить выдающиеся астрофизические открытия, отмеченные в частности, Нобелевской премии. Кратко опишем их.

Реликтовое излучение. Гипотезу о существовании реликтового излучения (термин предложил советский астрофизик И.С. Шкловский) высказал в 1946 г. Г.А. Гамов. Он разрабатывал теорию нуклеосинтеза в горячей Вселенной и предсказал существование теплового электромагнитного излучения со спектром абсолютно черного тела. Г.А. Гамов сделал теоретическое предсказание температуры этого излучения. Он оценил ее в 7 К, что впоследствии хорошо совпало с измеренным значением — около 3 К.

В 1960 г. в Кроуфорд-Хилле (Холмдел, шт. Нью-Джерси, США) была построена антенна для приема радиосигналов, отраженных от спутника-баллона «Эхо». К 1963 г. для работы со спутником эта антенна была уже не нужна, и американские инженеры А.А. Пензиас и Р.В. Вильсон из компании Bell Labs решили использовать ее для радиоастрономических наблюдений. В 1964 г. они обнаружили, что они принимают на длине волны 7,35 см заметное количество микроволнового шума, не зависящего от направления. В ходе исследований А.А. Пензиас и Р.В. Вильсон сделали вывод, что излучение приходит из космоса, причем со всех сторон и с одинаковой интенсивностью. Оказалось, что космическое пространство излучает так, как будто бы оно нагрето до температуры, лежащей в пределах от 2,5 до 4,5 К.

Так, было сделано замечательное открытие, доказывающее, что Вселенная в начале расширения была горячей. В 1978 г. А.А. Пензиас и Р.В. Вильсон разделили половину Нобелевской премии по физике «за открытие космического микроволнового фонового излучения». Вторую половину премии получил П.Л. Капица «за базовые исследования и открытия в физике низких температур».

Пульсары. В середине 1960-х гг. радиоастрономы Великобритании решили провести первый полный обзор северного полушария неба по выявлению мерцающих радиоисточников на длине волны 75 см. Работу по анализу наблюдений поручили аспирантке Кембриджского университета Дж.Б. Бернелл. Ее научным руководителем и организатором всей программы был Э. Хьюиш. В 1967 г. было завершено строительство меридианного радиотелескопа для исследования влияния солнечной короны на излучение от далеких точечных источников. Дж. Белл начала с его помощью поиск радиоисточников с быстро и заметно меняющейся амплитудой сигнала на длине волны 3,5 м. Однажды она нашла быстропеременный источник — «помеху», которая наблюдалась глубокой ночью, когда мерцающих источников не должно было быть. Дж. Белл нашла в своих записях еще несколько подобных источников. По импульсному характеру излучения они были названы пульсарами. Импульсы следовали один за другим с четко выдерживаемым периодом в 1,34 с.

В 1968 г. Т. Голд предложил теорию, впоследствии подтвердившуюся, согласно которой пульсар представляет собой быстро вращающуюся вокруг собственной оси нейтронную звезду с сильным магнитным полем ($\sim 10^{12}$ – 10^{13} Гс, для сравнения, у Земли — ~ 1 Гс), окруженную облаком разреженного газа (плазмы), которое испускает вращающийся луч. Отметим, что пульсары излучают не только в радиодиапазоне, но также в оптическом, рентгеновском, гамма-диапазонах. Сейчас исследования пульсаров проводятся с помощью самых совершенных телескопов, поскольку для регистрации их импульсного излучения нужна предельно высокая чувствительность.

Двойные пульсары. Нобелевский комитет Шведской Королевской академии наук присудил премию 1993 г. по физике Дж. Тэйлору-мл. и Р. Халсе за открытие и исследование первого двойного радиопульсара. 2 июля 1974 г. аспирант Р. Халсе вместе со своим научным руководителем Дж. Тейлором, проводя наблюдения на 300-м радиотелескопе в Аресибо, обнаружили в созвездии Орла двойной пульсар PSR B1913+16. Он представляет собой быстровращающуюся сверхплотную нейтронную

звезду с сильным магнитным полем, которая входит в состав двойной системы и движется по очень вытянутой орбите с периодом $\sim 6,75$ ч. При этом средняя скорость движения пульсара составляет ~ 200 км/с!

Как оказалось, двойные радиопульсары являются уникальными объектами для экспериментальной проверки следствий ОТО, справедливость которой могла быть подтверждена с недоступной ранее точностью. Были исследованы известные релятивистские эффекты: замедление хода времени на движущемся теле и гравитационное красное смещение в поле тяготения. Это дало возможность наиболее точно вычислить массу самого пульсара, оказавшейся равной 1,4411 массы Солнца. 15-летние высокоточные наблюдения пульсара PSR B1913 + 16 дали возможность косвенно проверить одно из наиболее интересных следствий ОТО — существование гравитационных волн. В настоящее время открыто свыше 40 двойных пульсаров, некоторые из которых могут быть использованы как лаборатории для проверки ОТО.

Анизотропия реликтового излучения. Разница температуры реликтового излучения в различных направлениях на небе была открыта в 1992 г. в СССР в ходе эксперимента «Реликт-1» с помощью космического аппарата серии «Прогноз» (июль 1983 г. — февраль 1984 г.). Эксперимент «Реликт-1» проводился на спутнике «Прогноз-9». Аппаратура спутника работала полгода, картографируя небесную сферу. В результате была получена карта всего неба на длине волны 8 мм.

В январе 1992 г. на научном семинаре в ГАИШ А.А. Брюханов выступил от лица всей группы (в эту группу, помимо него, входили: руководитель эксперимента И.А. Струков, Д.П. Скулачев и М.В. Сажин) с сообщением об обнаружении анизотропии. К этому времени созданный НАСА космический аппарат «COBE» находился на околоземной орбите уже почти два года. Этот космический спутник также был ориентирован на исследование реликтового излучения. В отличие от «Прогноза-9» спутник «COBE» был многочастотным и многоцелевым инструментом.

В конце апреля 1992 г. Дж. Смут на пресс-конференции объявил об открытии анизотропии реликтового излучения. Вскоре и другие исследовательские группы подтвердили существование анизотропии реликтового излучения в средних угловых масштабах. Эти эксперименты проводились с наземных радиотелескопов и в ходе проведения баллонных экспериментов. В 2006 г. Нобелевская премия по физике была присуждена Дж. Мазеру и Дж. Смуту за «открытие планковской формы спектра

космического фонового излучения и анизотропии космического фонового излучения». Угловое разрешение первых наблюдений в экспериментах «Реликт-1» и «COBE» было очень небольшое, примерно 7° , поэтому информация о флуктуациях реликтового излучения была неполной. Принципиальным шагом в исследовании анизотропии реликтового излучения стал запуск спутника «WMAP» (аббревиатура от Wilkinson Microwave Anisotropy Probe). Аппарат «WMAP» смог построить детальную карту распределения интенсивности реликтового излучения по небесной сфере. На основе этих данных сейчас ведется уточнение космологических моделей и представлений об эволюции галактик. Кроме того, удалось с беспрецедентной точностью определить огромное количество важнейших космологических параметров (например, постоянную Хаббла — 72 ± 2 км/(с · Мпк), возраст Вселенной — $13,4 \pm 0,3$ млрд. лет и др.).

Проведенный краткий обзор истории формирования некоторых магистральных радиофизических направлений и их основополагающих достижений показывает, что радиофизика в рассматриваемый период вышла за рамки своего первоначального предмета исследований. В связи с этим, ее историю целесообразно изучать как историю формирования и развития ее важнейших направлений.

В заключение приведем таблицу 2, в которой приведены этапы развития радиофизики и соответствующие им хронологические рамки.

Таблица 2

Этапы развития радиофизики как науки

Название этапа	Хронологические рамки
Этап I. Формирование теоретических и экспериментальных предпосылок для создания теории электромагнитного поля	С 1820 по 1857 гг.
Этап II. Разработка теории электромагнитного поля	С 1857 по 1865 гг.
Этап III. Развитие теории электромагнитного поля. Открытие и исследование электромагнитных волн	С 1865 по 1895 гг.
Этап IV. Формирование и развитие искровой радиотехники, радиотехники незатухающих колебаний и вакуумной электроники	С 1895 гг. по 1930 гг.
Этап V. Формирование радиофизики как науки	С 1930 по 1940-е гг.
Этап VI. Дифференциация радиофизической науки и экспансия ее методов в различные области науки и техники	С 1940-е гг. по настоящее время

Выводы по главе 1

1. Проведен анализ различных дефиниций предмета радиофизики. В ходе историко-научных изысканий мы будем полагать, что радиофизика выступает своеобразным мостом между радиотехникой и физикой, обладает более широкой трактовкой изучаемых явлений и характеризуется активной экспансией ее методов в разные разделы современной фундаментальной науки и техники.

2. Сделан вывод о том, что трактовки предмета радиофизики, сформулированные А.В. Гапоновым-Греховым и А.Г. Литваком, наиболее адекватно отражают предмет радиофизической науки на современном этапе ее развития.

3. Выявлено в ходе изучения историко-научной литературы, что в основе радиофизики лежат три научных направления: электродинамика, общая теория колебаний и волн и электроника.

4. Рассмотрены характерные особенности, теоретические, экспериментальные и прикладные основания радиофизики с учетом тенденций развития современной физики и техники.

5. Определены предмет, цели, возможные подходы (траектории) к изучению истории радиофизики. При этом история радиофизики является неотъемлемой частью истории науки и техники. Кроме того, историю радиофизики следует позиционировать как важнейшее направление в истории современной физики.

6. Выполнен анализ различных источников информации, посвященных истории радиофизики. Условно они разделены на четыре категории (история развития отдельного направления радиофизики, биографические материалы об ученых-радиофизиках, периодические издания, учебная литература).

7. Показано, что в развитии радиофизики можно выделить шесть этапов. Приведены краткая характеристика каждого этапа и его хронологические границы.

Глава 2. Феномен научных школ в истории отечественной физики

*«Чтобы двигаться дальше, нужно сохранять и развивать те научные школы,
которые сложились у нас»*

Ж.И. Алферов [Цит. по: 304]

К исследованию истории радиофизики можно применять различные подходы. Ее можно изучать сквозь призму Нобелевских премий [287], присужденных за достижения в этой области, или представлять как историю ключевых радиофизических экспериментов, или рассматривать в русле развития колебательных и волновых идей и применения радиофизических методов в разных диапазонах электромагнитных волн. Наконец, можно исследовать научные биографии творцов радиофизики и на основе этого материала реконструировать процесс формирования и развития этой науки. Безусловно, у каждого из указанных подходов существуют свои сильные и слабые стороны. Например, как было показано в главе 1, анализ тематики Нобелевских премий в области радиофизики позволяет определить ее магистральные направления исследований и сфокусировать внимание на этапах их развития (вплоть до современного состояния).

Однако, учитывая специфику предмета и характерные особенности радиофизики, ее этапы эволюции, к истории радиофизики, на наш взгляд, следует применять комплексный подход. Одним из них может стать исследование деятельности научных школ в отечественной радиофизике. Перед тем, как использовать данный подход, необходимо проанализировать сам феномен научных школ, объяснить причины их возникновения в истории науки, определить характерные признаки таких научных коллективов, а также выявить их роль в развитии физики, в первую очередь, отечественной. В совокупности это позволит разработать параметры научной школы в радиофизике, по которым их можно будет идентифицировать.

§ 2.1. Феномен научных школ в различных контекстах

Анализ историко-научной и философско-методологической литературы (например, [359; 520]) свидетельствует о том, что научные школы являются

эффективной формой организации коллективного научного творчества, в рамках которой происходят трансляция научного знания, освоение методологии научно-исследовательской работы, а также подготовка научных кадров. При этом важно понимать, что научная школа — многоплановый феномен, в котором переплетены разные проявления науки: и как вида деятельности, и как социального института, и как системы знаний.

В силу большого количества существующих трактовок понятия «научная школа» их удобно разделить на две группы: «Работы зарубежных ученых» и «Работы отечественных ученых». К категории ученых мы относим, прежде всего, специалистов в области истории и философии науки, науковедения. Мнения же историков физики о феномене научных школ будут рассмотрены в § 2.3 данной главы.

§ 2.1.1. Работы зарубежных ученых

Прежде всего, следует отметить книгу «Структура научных революций» (1962 г.) [296] известного американского философа и историка науки Т. Куна. В ней, в частности, рассмотрена роль научных школ в период «нормальной науки» и в период научных революций. В 1960-е гг. западные исследователи изучали социальные механизмы функционирования науки, кооперацию научного труда и формы самоорганизации исследователей: лаборатории и «невидимые колледжи» («invisible colleges»¹). При этом понятие «научные школы» ими не использовалось.

Американские науковеды Д. Прайс и Д. Крейн определили «невидимый колледж» как научную элиту, объединенную общими интересами [553; 540]. «Невидимый колледж» в большинстве случаев не оформлен институционально, и существует в виде сети связей между учеными, в таких форматах, как ученик — учитель, коллеги по работе, члены команды, выполняющие разовый проект, соавторы.

По мнению Д. Прайса и Д. Крейна, «невидимый колледж» является коммуникационным образованием, основанным на взаимоотношениях элитных ученых, создающих своеобразное мини-сообщество. Его образуют исследователи, которые, работая в разных местах, объединены общей проблематикой своих исследований и сходными

¹ В науковедение этот термин ввел известный историк и социолог науки Дж. Бернал. Систематическое изучение феномена «невидимых колледжей» предпринял Д. Прайс.

методиками, могут обмениваться информацией, присутствовать на научных конференциях и т. д. Д. Прайс считает, что «невидимые колледжи» более эффективны, чем российские научные школы, так как они не имеют тенденции к инерционности. Эта новая форма самоорганизации, связывающая молодых ученых с несколькими лидерами и позволяющая им быстрее реагировать на изменение идей и методов [553].

В 1972 г. в английском историко-химическом журнале «Ambix» вышла статья Дж. Моррелла, посвященная исследовательским школам Ю. Либиха и Т. Томсона» [552]. В ней появление первых научных школ было отнесено к началу XIX в. Далее в статье речь шла об экспериментальных школах в области химии (автор называл их «a laboratory-based research schools»), но при этом были отмечены и некоторые общие черты научной школы. Кроме того, была предложена модель «идеальной исследовательской школы», а также выявлены и проанализированы факторы, оказывающие влияние на развитие научных школ. К таким факторам, по мнению Дж. Гейсона, следует отнести: научную репутацию и авторитет лидера, стиль руководства, ясность исследовательской программы, наличие студентов или выпускников, из которых формируются будущие участники школы, соответствующую финансовую поддержку [544].

Дж. Гейсон, изучая деятельность «исследовательских школ» («research schools»), приходит к выводу, что ими являются «небольшие группы зрелых ученых, придерживающихся логически последовательной программы исследований, работающих в одном институциональном контексте вместе с продвинутыми студентами, прямо и непрерывно социально и интеллектуально взаимодействующих» [545. Р. 23]. Интересна также точка зрения Б.Ч. Гриффита и Н.Ч. Маллинза: «Высоко сплоченные научные группы организуются сознательно, обычно под руководством лидера... Вместе с тем для создания сплоченной группы наличие такого лидера не является необходимым условием. Группа продуктивных ученых может быть столь богата талантами, что лидерство в ней может возникать лишь как реакция на определенные условия, в которые попадает группа» [198. С. 140].

В 1990-е гг. появилось несколько важных работ зарубежных исследователей по научно-школьной проблематике. Прежде всего, необходимо отметить специальный выпуск историко-научного журнала «Osiris», посвященный изучению научных школ (под редакцией Ф.Л. Холмса и Дж. Гейсона) [544]. В основном, этот историко-научный труд относился к экспериментальным школам в области химии и отчасти физики в

Германии, Британии и США. В частности, некоторые авторы обращали внимание на концепцию «неявного знания» М. Полани для более глубокого раскрытия образовательного аспекта научных школ. Обстоятельный аналитический обзор этой работы был опубликован в журнале «Вопросы истории естествознания и техники» в 1996 г. [205]. Отметим, что в настоящее время понятие «научная школа» редко употребляется в зарубежных работах. Если оно и используется, то преимущественно в историко-научном контексте.

§ 2.1.2. Работы отечественных ученых

Вопросы, связанные с изучением процессов становления и развития научных школ, выявлением их отличительных признаков, обстоятельно рассматривали такие отечественные историки и философы науки, науковеды, как А.Н. Антонов, Д.Б. Аронов, О.Ю. Грезнева, Д.Ю. Гузевич, Г.Б. Жданов, В.К. Криворученко, Н.А. Куперштох, Е.З. Мирская, С.Р. Микулинский, О.А. Овчинников, В.Г. Садков, Б.А. Старостин, М.Г. Ярошевский, Н.И. Родный и др. Не претендуя на исчерпывающий обзор этой обширной темы, приведем ряд мнений ученых, объясняющих сущность феномена научной школы.

В СССР интерес к нему возник в конце 1960-х — начале 1970-х гг. в ИИЕТ АН СССР начали проводиться работы (Н.И. Родный, М.Г. Ярошевский, С.Р. Микулинский) на стыке истории классической истории науки и науковедения [455]. В 1977 г. под редакцией С.Р. Микулинского и М.Г. Ярошевского, а также коллег из ГДР Г. Кребера и Х. Штайнера вышел сборник статей «Школы в науке» [520]. В нем рассмотрены такие вопросы, как формирование и развитие научных школ, их воздействие на научный прогресс, роль научных школ в воспитании молодых кадров и др. В этом контексте весьма плодотворной оказалась идея М.Г. Ярошевского о выделении трех разновидностей научных школ:

- научно-образовательные школы;
- школы как исследовательские коллективы;
- научные школы как научные направления.

В статье «Логика развития науки и научная школа» М.Г. Ярошевский указывает, что «термин "школа" по общепринятому мнению историков и при всей своей неопределенности означает, во-первых, единство обучения творчеству и процесса исследования, во-вторых, позицию, которой придерживается одна группа ученых в

отношении других...»; «...научная школа по своей сути являет собой эффективную модель образования как трансляции, помимо чисто предметного содержания, культурных норм и ценностей (в данном случае научного сообщества) от старшего поколения к младшему. Она является инструментом воспитания исследовательского стиля мышления определенного способа, подхода к решению проблем» [520. С. 86]. М.Г. Ярошевский выделяет следующие важные признаки научной школы:

- наличие лидера, задающего вектор развития научной школы;
- наличие исследовательской программы, объединяющей коллектив на основе единой цели;
- общность подходов (или единую парадигму) совместной деятельности.

Помимо анализа общих проблем исследования научных школ, в сборнике [520] приводятся характеристики подобных научных коллективов, функционирующих в различных областях науки. Так, рассматриваются химические школы середины XIX в., физиологические школы Военно-медицинской академии, Кавендишская физическая школа и др. К середине 1990-х гг. появляются работы, в которых научные школы рассматриваются в числе других институциональных структур, организационных форм научной деятельности. В это время изучаются взаимодействие и взаимовлияние академических и вузовских научных школ, научных школ кафедр вузов, факультетов.

В 1995 г., благодаря инициативе и активным действиям академиков РАН (В.Е. Фортова, В.Е. Захарова, В.П. Скулачева, А.Ф. Андреева, А.В. Гапонова-Грехова), была создана государственная программа поддержки ведущих научных школ России. В ней под термином «научная школа» понимается «... относительно небольшой научный коллектив, объединенный не столько организационными рамками, не только конкретной тематикой, но и общей системой взглядов, идей, интересов, традиций — сохраняющейся, передающейся развивающейся при смене научных поколении» [405]. В соответствии с этим выделяются следующие признаки научной школы:

- 1) общность научных интересов представителей школы и научная значимость рассматриваемых проблем;
- 2) уровень научных результатов школы и ее (школы) признание в стране и за рубежом;
- 3) роль научного лидера, стабильность и перспективы школы (преемственность научных поколений, работа с научной молодежью, работа научного семинара).

Опыт первых лет работы по государственной поддержке научных школ нашел отражение в ряде статей и докладов, а также в справочнике «Ведущие научные школы России» (1998 г.). «Можно с известным правом утверждать, — писали его составители, — что именно научные школы, традиционно культивируемые советской и российской наукой, обеспечили ей признанный мировой уровень — несмотря на сильно ограниченные в течение десятилетий международные связи и невысокое (по мировому уровню) финансирование. Поэтому поддержка таких научных школ, являющихся специфической особенностью российской науки (и не характерных для гораздо более индивидуализированной науки западной), представляется задачей первостепенной важности» [147. С. 4].

Е.З. Мирская отмечает, что по признанию большинства ученых, научная школа имеет ряд признаков [358], к которым можно отнести:

- наличие лидера — известного авторитетного ученого, генератора идей и учителя;
- наличие у лидера оригинальной новаторской научной программы, достаточно разработанной для реального исполнения;
- наличие учеников — «школьников» и возможностей пополнения школы;
- принятие единой (особой) концептуальной точки зрения на избранную проблему и на методику ее исследования;
- творческая, деловая и доброжелательная атмосфера в коллективе;
- поощрение инициативы и самостоятельности мышления;
- приобретение учениками высокой квалификации;
- значимость научных результатов, полученных школой;
- высокий научный авторитет школы и «школьников» в своей области знания.

По мнению Н.А. Куперштох [297], «термин "научная школа" употребляется в литературе, как в расширительном, так и в сугубо конкретном смысле. В первом случае речь идет об уникальном явлении, когда возникающая между крупными учеными общность взглядов, идей и интересов приводит их к тесному и близкому сотрудничеству, порождает неформальные взаимоотношения, привлекает новые молодые таланты и на многие годы определяет пути и темпы развития принципиально новых областей науки. Во втором случае понятие "научная школа" употребляется в более узком, "локальном" смысле — применительно к относительно небольшому

научному коллективу, объединенному не столько организационными рамками, не только конкретной тематикой, но и общей системой взглядов, идей, интересов, традиций, сохраняющейся, передающейся и развивающейся при смене научных поколений» [147. С. 3–4].

Определение научной школы можно найти и в статье В.К. Криворученко. «Научным школам свойственны такие характеристики — инициативность, самостоятельность, наличие внутреннего импульса развития, целеустремленность, стойкость убеждений, неудовлетворенность достигнутым. Для научной школы крайне важно научное самоопределение, самоидентификация члена коллектива, выявление и укрепление его социальной роли в ней, проектирование исследовательской деятельности каждого как частей общего» [278].

Начальник отдела поддержки ведущих научных школ и грантов Президента РФ А.С. Левин приводит феноменологическое определение научной школы: «исторически сложившаяся форма совместной научной деятельности коллектива исследователей разного возраста и квалификации, руководимых признанным лидером, объединяемых общим направлением работ, обеспечивающих эффективность процесса исследований и рост квалификации сотрудников» [307].

Философский анализ феномена научной школы выполнен Т.Ю. Павельевой в ее докторской диссертации [381]. Актуальность исследования обусловлена тем, что, несмотря на отечественные разработки, посвященные анализу научных школ, до сих пор отсутствует единая методология их изучения. Это приводит к многозначности понятия «научная школа». Как следствие, исследователи под научной школой понимают разные феномены. Философский анализ научных школ, проведенный Т.Ю. Павельевой, позволяет не только выработать общую методологию их изучения, но и представить системное видение научных школ с точки зрения раскрытия их сущностных признаков, структуры, функций и типологии.

Анализ историко-научной литературы, работ по философии и социологии науки позволяет выделить следующие формы научной школы (например, [203]):

- формальное объединение, научно-образовательная организация различного статуса (университет, кафедра, факультет, научно-исследовательский институт, лаборатория);
- исследовательский (творческий) коллектив, не обязательно имеющий

формальную принадлежность к какому-либо структурному подразделению университета или научно-исследовательского института;

- направление в науке, объединившее интересы группы исследователей.

Важную роль в становлении молодых ученых играют лекции и семинары, которые ведет учитель. О.Ю. Грезнева выделяет четыре типа научных семинаров (по их целевой направленности) [197].

1) Осмысление научно-исследовательской деятельности самой школы: систематизация и обобщение полученных результатов в рамках научно-исследовательской программы, обсуждение и анализ дискуссионных вопросов, планирование научных работ участников школы.

2) Формирование у «школьников» основ методологии научного познания и норм научно-исследовательской деятельности, овладение логикой построения научного исследования на примерах работ отдельных ученых.

3) Изучение и анализ современных достижений в научном направлении, в котором работает школа.

4) Знакомство с последними достижениями в своей научной области и в смежных областях научного знания.

Отметим, что третий и четвертый типы научных семинаров практически идентичны друг другу. На наш взгляд, необходимо добавить, что участники семинара проводят также историко-научный обзор работ по своей тематике (анализируют фундаментальные труды ученых, реферируют отечественные и зарубежные статьи, связанные с историей формирования определенного научного направления, конспектируют выступления лидера научной школы и ее представителей). Кроме того, немаловажным аспектом деятельности семинаров является решение расчетных и качественных задач.

Таким образом, в определенном смысле семинар можно считать научной школой, в которой осуществляются обучение, воспитание и формирование научного и культурного облика ученого, самостоятельная работа «школьников» под руководством признанного лидера. В истории отечественной физики можно найти примеры подобных семинаров. Это, в первую очередь, семинары Л.И. Мандельштама, В.Л. Гинзбурга, С.М. Рытова, П.Л. Капицы, И.Е. Тамма.

В этом контексте уместно привести высказывание Б.М. Болотовского.

«...Семинар — это одновременно и конференция, и школа, и повседневная работа, и учеба, и личные контакты, и регулярный источник информации, и многое другое. Добавим еще, что хороший семинар — это школа во всех смыслах слова, т. е. такое место, где происходит и обучение, и воспитание, и формирование научного и нравственного облика ученого» [113].

В течение последних 20 лет наблюдается всплеск интереса отечественных специалистов к изучению феномена научных школ. В 1997 г. вышел в свет специальный выпуск «Историко-математических исследований под редакцией С.С. Демидова и испанского историка математики М. Ормигона. Он был посвящен деятельности научных школ в области математики. В статье С.С. Демидова «История математики в России и СССР как история школ» предлагался научно-школьный подход к истории математики [204. С. 9–21], хотя понятие «школы» у него рассматривалось в несколько расширительном плане, как это видно из аннотации: «...В работе обсуждаются — 1) особенности...Петербургской и двух Московских школ... — 2) феномен «Советской математической школы» ... [Там же. С. 128]. При этом отдельного внимания заслуживает схема российских и советских школ, связанных с именами выдающихся математиков (П.Л. Чебышева, Д.Ф. Егорова и Н.Н. Лузина и др.) и восходящих к Л. Эйлеру [Там же. С. 20].

В работе Р.А. Фандо «Формирование научных школ в отечественной генетике в 1930–1940-е гг.» [471] обсуждаются институциональный, кадровый, исследовательский, а также философско-идеологические аспекты формирования и развития научных генетических школ. Кроме того, следует отметить сборник статей Е.Б. Музруковой и Р.А. Фандо (ред.) «Научные школы в отечественной биологии XX века и их трансформация в условиях социокультурных явлений» [365]. В докторской диссертации О.М. Мельниковой рассматриваются научные школы в археологии [340]. В периодических изданиях и в сети Интернет можно найти статьи, посвященные феномену научных школ в психологии [519], химии, географии и т. д.

§ 2.2. Исторические этапы развития научных школ

Формирование научных школ обусловлено не только логикой развития науки, ее организационных форм и социально-историческими условиями, в которых они функционируют, но и личностно-психологическими особенностями руководителя

научной школы. Это связано с тем, что научная школа возникает на основе разработанной им исследовательской программы. Анализ историко-научной литературы, работ по социологии науки и науковедению позволяет выделить ряд этапов в эволюции научных школ [381; 472; 443].

Первый этап охватывает деятельность «научных» школ в эпоху крупнейших цивилизаций Древнего Востока и Античности и до периода Нового времени. Термин «научные» школы взят в кавычки, так как в указанный временной интервал нельзя говорить о научной школе в строго категориальном значении. Скорее речь идет об элементах коллективной формы научного творчества, которая выражается в формате «учитель — ученики» или последователи. К древним натурфилософским «школам» относятся:

- ионийская (Фалес, Анаксимандр, Анаксимен);
- пифагорейская (Пифагор, Алкмеон Кротонский, Диоген Лаэртский);
- атомистическая (Левкипп, Демокрит);
- «школа» (академия) Платона;
- перипатетическая (ликей Аристотеля).

Такие «школы» возникают, с одной стороны, на базе определенного учения, а с другой стороны, — в их задачу входит обучение той высшей мудрости, которую транслирует учитель. В связи с этим, «школы» носят преимущественно научно-образовательный характер. Примечательно, что в их деятельности можно выделить такие признаки будущей научной школы, как существование оригинального учения, разработанного основателем школы, признание авторитета учителя, существование коллектива единомышленников, формирование собственного стиля мышления.

Первоначально эти «школы» не были вписаны в конкретные социальные рамки (хотя уже в Средневековье такие школы могли функционировать в монастырях, университетах), они зарождались и прекращали свое существование по инициативе конкретного человека — руководителя подобного социального образования. Появление первых университетов в Европе (медицинская школа в Салерно, Болонская правовая школа, Оксфордский университет, Кембриджский университет и др.) приходится на XI–XIII вв. Истоки формирования научных школ в физике можно обнаружить еще в XVII в. В контексте «учитель — ученики» можно говорить о «школе» Г. Галилея, учениками которого были Б. Кастелли, Э. Торричелли, Дж. Борелли и В. Вивиани.

Второй этап относится к периоду, для которого характерен процесс институционализации физики (с XVI — первой половины XVII вв. и до начала XIX в.). В этот временной отрезок, наряду с научно-образовательными школами, начинают формироваться научные школы как исследовательские коллективы. Появление таких школ стало особенно заметным явлением со второй половины XVII в., когда с образованием научных академий исследовательская деятельность перестала быть делом гениальных одиночек, а начала приобретать коллективный характер. Со второй половины XVIII в. многие научные школы начинают создаваться на базе специализированных научных и учебных заведений [277].

Третий этап начинается в XIX в. и продолжается до 1930-х гг., когда происходит окончательное закрепление организации науки по дисциплинарному принципу. Важно подчеркнуть, что появление научных школ связано с логикой развития науки, переходом от индивидуальной к коллективной форме научного творчества и необходимостью кооперации ученых (обмен информацией, выступления на научных форумах с результатами исследовательской деятельности, оценка научных достижений).

Научные школы, возникшие в XIX в. на базе университетов (как правило, образованные под эгидой выдающихся ученых), принято называть классическими, так как они сочетали в себе обучение и передачу знаний от учителя к ученикам в ходе проведения научных исследований. Они возникали вокруг ученых-экспериментаторов как «школы экспериментального мастерства». Одной из первых может считаться школа ученого-химика Ю. Либиха, из которой вышли Н.Н. Зинин, П.А. Ильенков, К. Шмидт, Н.Н. Соколов и др.

Непосредственной предтечей физической школы можно считать кружок и лабораторию Г. Магнуса [511], из которых вышли Г. Гельмгольц, Р. Клаузиус, Г. Квинке, А. Кундт, Дж. Гиббс, Г. Видеман, Э. Сименс, Дж. Тиндаль, А.Г. Столетов и др., а также группу учеников Ф. Неймана (Г. Кирхгоф, К. Нейман, Р. Этвеш, В. Фойгт и др.).

Четвертый этап приходится на 1930–1950-е гг. В этот период сосуществуют два типа научных школ. Один из них — классические школы: научно-образовательные школы, школы — исследовательские коллективы, формирующиеся вокруг личности выдающегося ученого. Второй тип научных школ — неклассические школы, в которых черты прежних научных школ стерты, а могут и не проявляться вовсе (например, случай школы без единого лидера, лидеры без школ или почти без школ). В деятельности обоих

типов научных школ особая роль принадлежит личности руководителя, который проявляет себя в нескольких качествах (наставника, коллеги, организатора, менеджера и, не в последнюю очередь, «учителя жизни» — носителя морально-нравственных ценностей). Кроме того, изменилась и организационная основа научных школ. Так, в середине XX в. появляются специализированные научно-исследовательские лаборатории и институты (НИИ), ставшие ведущей формой организации научного труда, и уже на их основе формируются научные школы как исследовательские коллективы.

Пятый этап начался в период 1950–1980-е гг. и продолжается до сих пор. Наука в СССР (затем в России) и за рубежом развиваются по разным моделям (см. выше). Постепенно понятие «научная школа» исчезает из научного оборота западных философов и социологов науки. В отечественной науке появляются новые организационные формы научных школ — междисциплинарные научные школы — коллектив ученых разных специальностей, объединенных для решения смежных научных задач. Школы такого типа дифференцируются не по научным направлениям, а по решаемым проблемам.

В настоящее время в российской науке продолжают функционировать три типа научных школ: научно-образовательные, школы как исследовательские коллективы и школы как направления.

§ 2.3. Формирование научных школ в отечественной физике

§ 2.3.1. Формирование научных школ в России (досоветский период)

В 1755 г. был открыт Московский университет, где по указаниям М.В. Ломоносова при философском кабинете были созданы кафедра физики и физический кабинет. Свои физико-химические исследования М.В. Ломоносов проводил в основанной им в 1748 г. химической лаборатории Петербургской академии наук. Его учениками были А.А. Барсов, Н.Н. Поповский, Ф.А. Яремский, А.А. Константинов, И.Ф. Фрязин и др. Идеи М.В. Ломоносова, касающиеся технологии проведения научных исследований, в дальнейшем развивались Э.Х. Ленцем, М.П. Авенариусом, А.Г. Столетовым и Ф.Ф. Петрушевским.

В начале XIX в. появляются новые университеты (Дерптский, Казанский,

Харьковский и др.). К этому времени стали формироваться и первые самостоятельные научные общества: Московское общество испытателей природы и физико-математическое общество (1805 г.), Минералогическое общество (1817 г.) и др. Кроме того, начали выходить журналы по естествознанию: «Технологический журнал», «Новый магазин естественной истории» и др. В целом развитие русской научной мысли в России в XVIII–XIX вв. находилось под влиянием европейской науки.

История возникновения университетской науки в России во второй половине XIX в. описана в книге А.М. Корзухиной [277]. В ней анализируются вопросы организации преподавания физики, создания кафедр, университетских лабораторий и физических институтов в Московском и Санкт-Петербургском университетах, в которых были получены практически все значимые результаты русской физики конца XIX — начала XX вв. Важным событием на пути совершенствования устройства университетов стал утвержденный императором Александром II Общий устав императорских российских университетов (18 июня 1863 г.). В тот же день были открыты все факультеты Санкт-Петербургского университета и проведена реорганизация Министерства народного просвещения. Структура императорских университетов по новому уставу расширялась за счет увеличения количества кафедр на факультетах. При этом в каждом университете было четыре факультета: физико-математический, историко-филологический, юридический и медицинский. Устав, в частности, вводил в отечественных университетах должность приват-доцента. Университеты также получили право создавать научные общества. Кроме того, предусматривалось открытие в ряде университетов современных физических лабораторий. Отметим, что за год до утверждения устава было принято решение о введении программы стажировок для выпускников университетов в ведущих университетских центрах Европы.

Крупные отечественные научные школы стали образовываться в 1830–1840-е гг. на базе университетских центров — Петербургская математическая школа, школа химиков-органиков Н.Н. Зинина (А.М. Бутлеров, Н.Н. Бекетов, А.П. Бородин и др.). Между тем, коллективы в физических и других научных дисциплинах долгое время оставались интернациональными. Достаточно вспомнить имена таких ученых немецкого происхождения, как Э.Х. Ленц, Б.С. Якоби.

Итак, в конце XIX — начале XX вв. в России сложились определенные предпосылки для формирования науки в качестве социального института:

возникновение научных школ, развитая система коммуникаций между учеными, появление выдающихся ученых, научные результаты которых имели мировое признание, укрепление связей научных исследований с производством. Несмотря на это, процесс институализации науки нельзя считать системным в силу ряда обстоятельств. Капиталистическая промышленность в России развивалась очень медленными темпами, весьма слабым был предпринимательский слой. Другая характерная особенность, имеющая уже положительный подтекст, — это доминирование государства в развитии отечественной науки. Эта тенденция наметилась еще при Петре I и поддерживалась другими российскими правителями, видевшими в науке и образовании инструмент для укрепления военной мощи России, сохранения ее территориальной целостности. При этом следует отметить формирование бюрократического аппарата управления и отсутствие буржуазно-либеральных демократических свобод, которые еще в XIX в. установились в Европе и оказали влияние на научно-технический прогресс.

Государственные капиталовложения в науку в дореволюционной России были крайне малыми. Незначительно было также участие частного капитала, тогда как на Западе крупнейшие фирмы активно финансировали научные исследования. В России фактически лишь предприниматели из семьи Нобелей, фонд им. Х.С. Леденцова, Московский городской народный университет им. А.Л. Шанявского материально поддерживали науку [414]. Кроме того, университетское образование в дореволюционной России по своему уровню было недостаточно высоким для того, чтобы обеспечить постоянный приток в науку талантливых ученых. В связи с этим люди, которые хотели заниматься физикой как профессией, уезжали учиться за границу, часто оставаясь там работать на долгие годы.

До Октябрьской революции научная работа по физике в России была тесно связана с высшей школой, прежде всего с университетами, и носила фрагментарный характер. Физическая мысль развивалась благодаря усилиям ученых-одиночек, которые, тем не менее, внесли существенный вклад в мировую науку. Достаточно вспомнить имена А.Г. Столетова, Н.А. Умова, А.С. Попова и др. Исключение составила деятельность выдающегося физика-экспериментатора П.Н. Лебедева, создавшего в Москве первую отечественную физическую школу мирового уровня, из которой вышли П.П. Лазарев, С.И. Вавилов, Н.Н. Андреев, В.К. Аркадьев, Т.П. Кравец и др.

По-настоящему научные исследования в области физики в нашей стране начались

лишь после Октябрьской революции. Несмотря на разруху первых послереволюционных лет, научные исследования не прекратились. Более того, именно в это время наметились основные направления, по которым должно было пойти развитие физической науки в России. К ним можно отнести: создание крупных научных учреждений, обновление высшей школы и укрепление ее связей с наукой, появление государственных и общественных объединений ученых.

Первые научные учреждения стали организовываться уже в 1918 г. В декабре этого года по инициативе М.А. Бонч-Бруевича и В.М. Лещинского была основана НРЛ. В том же году в Петрограде начал функционировать Рентгенорадиологический институт (будущий ФТИ), организованный А.Ф. Иоффе и М.И. Неменовым, а также ГОИ под руководством Д.С. Рождественского. В 1918 г. был также открыт ЦАГИ под руководством Н.Е. Жуковского. В Москве на базе университета Шанявского П.П. Лазарев организовал Институт биофизики Наркомздрава (1919 г.).

§ 2.3.2. Формирование советских научных школ в физике

Из ФТИ впоследствии возникли такие крупные научные центры как:

- Институт химической физики (руководитель — академик АН СССР Н.Н. Семенов);
- Институт атомной энергии (руководитель — академик АН СССР И.В. Курчатов);
- Радиевый институт (руководитель — академик АН СССР В.И. Вернадский);
- Электрофизический институт в Ленинграде (руководитель — академик АН СССР А.А. Чернышев);
- Украинский физико-технический институт (руководитель — академик АН СССР И.В. Обреимов).

Эти институты сыграли основополагающую роль в становлении советской физики. Впоследствии по их образу и подобию сформировались институты в других городах страны.

В СССР появился и новый тип ученого — организатора науки, руководителя и воспитателя творческой молодежи, создателя широко известных в мире физических школ. В качестве примеров можно привести школы С.И. Вавилова, А.Ф. Иоффе, И.В. Курчатова, Л.Д. Ландау, Л.И. Мандельштама, Д.С. Рождественского, И.Е. Тамма, Я.Б.

Зельдовича и др. Научные школы А.Ф. Иоффе и Д.С. Рождественского обеспечили Санкт-Петербургу научное лидерство, по крайней мере, до середины 1930-х гг. [149]. Во второй половине 1920-х гг. с приходом в Московский университет Л.И. Мандельштама (1925 г.) в нем зародилась новая научная школа. Ее участники работали по трем исследовательским программам: теории нелинейных колебаний и ее применению в радиофизике (Н.Д. Папалекси, А.А. Андронов, А.А. Витт, С.Э. Хайкин, С.М. Рытов, Г.С. Горелик, В.В. Мигулин, К.Ф. Теодорчик и др.), оптике и спектроскопии (Г.С. Ландсберг, П.А. Бажулин) и теоретической физике, включающей разработку проблем квантовой механики и ядерной физики (И.Е. Тамм, М.А. Леонтович, С.П. Шубин).

Впоследствии учениками Л.И. Мандельштама (а затем и их учениками) были созданы собственные научные школы. Это — теоретические школы И.Е. Тамма (С.А. Альтшулер, В.Л. Гинзбург, Л.В. Келдыш, А.Д. Сахаров, Д.А. Киржниц и др.), М.А. Леонтовича (Е.П. Велихов, Б.Б. Кадомцев, М.Л. Левин, Р.З. Сагдеев и др.), школа нелинейных колебаний А.А. Андропова, выросшая в современную Нижегородскую радиофизическую школу. Ее основатели — А.В. Гапонов-Грехов, Ю.И. Неймарк — были учениками А.А. Андропова. Нельзя не отметить также научную школу в области оптической спектроскопии, руководимую сотрудником и другом Л.И. Мандельштама Г.С. Ландсбергом. Из этой школы вышли С.Л. Мандельштам, И.Л. Фабелинский, И.И. Собельман, В.И. Малышев и др.

В 1934 г. в Москве из Физико-математического института был выделен ФИАН. Его руководитель, академик АН СССР С.И. Вавилов начал привлекать к работе в институте лучших московских физиков. В частности, были приглашены Л.И. Мандельштам и его сотрудники. Вскоре они перенесли свою научную деятельность из Московского университета в ФИАН. Так, Л.И. Мандельштам и Н.Д. Папалекси, опираясь на материально-технические возможности ФИАН, проводили исследования по распространению радиоволн и созданию методов радиоинтерферометрии. Л.И. Мандельштаму удалось наладить тесный контакт с оптической школой С.И. Вавилова (В.Л. Левшин, В.В. Антонов-Романовский, М.А. Константинова, М.Д. Галанин и др.).

В 1940–1950-е гг. Москва в области физики становится безусловным лидером. Здесь сосредотачивается большинство ведущих научных школ, связанных с именами И.Е. Тамма, И.В. Курчатова, Л.Д. Ландау, П.Л. Капицы, Н.Н. Семенова, А.И. Алиханова, И.Я. Померанчука, Н.Н. Боголюбова и др.

По мнению В.П. Визгина, помимо четырех школ-прародительниц (не считая школы П.Н. Лебедева, это — научные школы А.Ф. Иоффе, Д.С. Рождественского, Л.И. Мандельштама и С.И. Вавилова), можно говорить еще о двух близких к ним школах [150]. Это — школа, или нечто подобное ей, связанная с ИФП, возникшая в 1935 г., во главе с П.Л. Капицей и занимавшаяся, в основном, проблемами низкотемпературной физики, и теоретическая школа Л.Д. Ландау, начавшая формироваться в УФТИ и с 1937 г. нашедшая основное пристанище в ИФП, на базе его теоретического отдела.

Указанные школы-прародительницы можно назвать супершколами. Для них характерно существование нескольких исследовательских программ. Кроме того, в структуру супершколы могут входить две (и более) научные школы. Так, у А.Ф. Иоффе была сначала школа по изучению механических свойств твердых тел, а затем школы по физике полупроводников. Но, говоря о его супершколе, мы имеем в виду научно-организационную школу по созданию ЛФТИ и сети физико-технических институтов. Супершкола появляется тогда, когда наряду с чисто научными проблемами (у С.И. Вавилова — в области люминесценции, у Д.С. Рождественского — в области спектроскопии, у И.В. Курчатова — в области физики реакторов, а затем УТС и т. д.), перед ее лидером возникают масштабные научно-организационные проблемы (у С.И. Вавилова — организация ФИАН, у Д.С. Рождественского — создание ГОИ и оптической промышленности, у И.В. Курчатова — создание атомной промышленности и ядерного оружия и т. д.).

Приведенный исторический обзор фиксирует некоторые важные вехи на пути формирования первых советских научных школ в физике. Более подробно об этом процессе можно прочитать в ряде книг (например, В.П. Визгина и А.В. Кессениха [150], Л.А. Арцимовича [94], В.А. Лешковцева [317], Л. Грэхэма [200] и др.). В результате работы советских ученых уже в первые послеоктябрьские годы были созданы теоретические и экспериментальные предпосылки для постановки и решения целого комплекса научных задач. В тематике исследований советских физиков фигурировали проблемы атомной физики, радиоактивности, электроники, радиофизики, физики твердого тела, оптики и спектроскопии, акустики, биофизики, геофизики. Это была наука «сплошного фронта», по меткому выражению С.И. Вавилова [Цит. по: 291. С. 258].

§ 2.3.3. Изучение научных школ с точки зрения историков физики

Научно-школьный подход к изучению истории физики заключается в том, что ее можно представить, как процесс возникновения, развития и ветвления научных школ [148]. При этом важно исследовать историю формирования, результаты функционирования каждой из научных школ, взаимодействие между ними, их творческое наследие. Целесообразность применения научно-школьного подхода к истории отечественной физики XX в. обусловлена рядом причин. Во-первых, в прошлом столетии наука в значительной степени стала коллективным предприятием, а научная школа оказалась одной из наиболее распространенных его форм. Во-вторых, научная школа особенно характерна для организации советской науки, что подтверждается фактическим материалом по истории отечественной физики. Как уже отмечалось, ее формирование и развитие тесно связаны с деятельностью научных школ П.Н. Лебедева, А.Ф. Иоффе, Д.С. Рождественского, Л.И. Мандельштама, И.Е. Тамма, Л.Д. Ландау и др. В-третьих, научно-школьный подход позволяет включить в рассмотрение новые измерения науки и ее истории (об этом мы расскажем ниже). История науки становится не только историей развития идей, теорий, экспериментальных достижений и практических применений, но и историей научных коммуникаций, научно-образовательных систем и даже личностно-психологических и научно-биографических аспектов в их взаимосвязи [253].

Пионером в изучении научных школ в области физики, и тем самым, в применении научно-школьного подхода к истории физики стал советский (позже украинский) историк физики Ю.А. Храмов. В 1979 г. вышел его препринт «Научные школы в физике» [512], на основе которого впоследствии была издана монография с тем же названием (1987) [511]. К препринту 1979 г. была приложена схема «Эволюция первой физической школы Кундта». Фактически, она стала первым наброском развития отечественной физики как процессов возникновения и ветвления физических научных школ: от школ А. Кундта, П.Н. Лебедева, С.И. Вавилова, Л.И. Мандельштама, А.Ф. Иоффе до школ И.В. Курчатова, В.Л. Гинзбурга, А.М. Будкера и др.

Всего на схеме было представлено 44 отечественных школы. В книгу Ю.А. Храмова 1987 г. был помещен только фрагмент этой схемы, представляющий эволюцию научной школы П.Н. Лебедева. Ю.А. Храмовым были также описаны 8 крупнейших отечественных научных школ в физике: П.Н. Лебедева, А.Ф. Иоффе, Д.С.

Рождественского, Л.И. Мандельштама, С.И. Вавилова, Л.Д. Ландау, И.Е. Тамма и И.В. Курчатова.

Ю.А. Храмов понимает под научной школой «неформальную общность исследователей разных поколений высокой научной квалификации во главе с научным лидером в определенном научном направлении, с единым подходом к разрешению проблем, с единым стилем работы и мышления, оригинальностью и новизной идей и методов реализации исследовательской программы. Вследствие этого получены значительные результаты, завоеваны авторитет и общественное признание в данной области знания» [Там же. С. 13]. Используя в качестве оценочных критериев высказывания ученых, в которых отмечаются те или иные особенности научной школы, Ю.А. Храмов выделил ее наиболее характерные признаки:

- наличие научного лидера исследовательского коллектива, руководителя школы;
- стиль работы и стиль мышления;
- научная идеология, определенная научная концепция (фундаментальная идея), научно-исследовательская программа;
- особая научная атмосфера;
- высокая квалификация исследователей, группирующихся вокруг лидера;
- значимость полученных ими результатов в определенной области науки, высокий научный авторитет в этой области.

В 2000-х гг. интересы историков физики ИИЕТ РАН были сосредоточены на вопросах, связанных с историей развития физики в СССР в период 1950–1960-е гг., и изучением научного сообщества физиков [368]. В 2007 г. вышел второй выпуск сборника «Научное сообщество физиков», в котором содержался первый набросок научно-школьного подхода к истории советской физики [369]. В этой работе была представлена предварительная типология физических школ, а также выделено примерно 75 школ, корни которых относятся к школам-прародительницам (П.Н. Лебедева, А.Ф. Иоффе, Д.С. Рождественского, Л.И. Мандельштама, С.И. Вавилова). Кроме того, в сборнике приведена схема эволюции физических научных школ, деятельность которых приходится на период 1950–1960-х гг.

В 2013 г. в рамках годичной конференции ИИЕТ РАН было продолжено обсуждение различных контекстов понятия научной школы и вопросов, возникающих

при разработке научно-школьного подхода [148; 253]. Своеобразным продолжением первых двух выпусков книги «Научное сообщество физиков» стал сборник «К исследованию феномена советской физики 1950–1960-х гг.», в котором значительное внимание уделено междисциплинарным аспектам физики, а также затронут вопрос о междисциплинарных научных школах [239]. Примерами крупных междисциплинарных научных школ являются школы в области химической физики (школа Н.Н. Семенова, В.В. Воеводского и др.), в области биофизики (школы М.В. Волькенштейна, С.Е. Бреслера, Л.А. Блюменфельда и др.).

В 2016 г. был издан сборник «Исследования по истории физики и механики. 2014–2015» [234]. В его содержание вошли результаты историко-научного анализа деятельности некоторых российских научных школ в области физики. В программной статье В.П. Визгина и А.В. Кессениха «Научные школы в истории отечественной физики» [Там же. С. 177–206] рассмотрены особенности научно-школьного подхода к истории отечественной физики XX в. (особенно в период ее интенсивного развития в 1950–1970-е гг.). Эта статья, по сути, является основой для научно-школьных исследований, причем не только в физике. В ней систематизирован опыт исследования феномена научных школ в отечественной физике, приведена типология научных школ, критерии их эффективности, высказана идея об измерениях научных школ. Приведем ряд важных тезисов из данной статьи.

Прежде всего, следует подчеркнуть многомерность понятия научной школы и научно-школьного подхода. Доминирующим является научно-содержательное измерение, связанное с получением научных результатов, решением научных проблем, открытием новых явлений, их объяснением и с построением научных теорий. Этот аспект деятельности научных школ отражен в самом их названии, т. е. речь идет о школах, в первую очередь научных (точнее научно-исследовательских). Тем самым, мы должны позиционировать научные школы как своеобразные «фабрики» по производству новых научных знаний.

К научно-содержательному измерению следует отнести также тематику исследований научной школы, исследовательскую программу (или исследовательские программы), по которой работают ее участники.

Как уже отмечалось, наука в XX в. приобрела преимущественно коллективный характер. Для получения научного знания создаются исследовательские лаборатории,

научные центры и институты. При этом научные школы обычно оказываются связанными с этими организационными структурами. По этой причине для научных школ характерно институциональное (или научно-организационное) измерение.

Учитывая приведенные выше трактовки понятия «научная школа», можно говорить о научно-образовательном измерении. Оно отражает тот факт, что в рамках научных школ формируется их кадровый состав, а также происходит передача научных знаний от руководителя его ученикам. Причем это может происходить как на семинарах, так и при непосредственном общении ученика и учителя в лабораторных условиях, при обсуждении результатов научных работ, подготавливаемых к печати материалов. Взаимодействие лидера со «школьниками», их согласованная работа относятся к лично-психологическому измерению, включающему в себя и биографический (или научно-биографический) аспект. В этом случае речь идет об индивидуальных особенностях руководителя, его стиля мышления, специфике организации научных исследований и др.

Научные школы взаимодействуют (конкурируют или сотрудничают), вступают во взаимоотношения с властными структурами, обществом, другими научными школами и научными объединениями и т. д. В связи с этим можно говорить о научно-коммуникативном, научно-политическом и социокультурном измерениях.

К одной из важнейших проблем, рассматриваемых в статье В.П. Визгина и А.В. Кессениха, относится выбор критериев эффективности научных школ. Прежде всего, важно составить хронологию основополагающих достижений, полученных научными школами, и по ним попытаться их идентифицировать. При этом можно, например, опираться на тематику Нобелевских премий, присужденных в области физики и химии, а также на исследования, не удостоенные этой премии, но имеющие мировой научный уровень. В результате можно выделить школы Нобелевского уровня (С.И. Вавилова, Л.Д. Ландау, И.Е. Тамма, И.М. Франка, П.А. Черенкова, Н.Н. Семенова, А.М. Прохорова, Н.Г. Басова, В.Л. Гинзбурга, Ж.И. Алферова. Можно использовать также научно-общественное мнение, зафиксированное, например, в таких юбилейных коллективных трудах, как «Развитие физики в СССР за 50 лет» [94]. Полезно при этом учитывать индексы цитирования, аналитические историко-научные труды, в том числе западных коллег (Л. Грэхема [547], Д. Холлуэя [548], П. Джозефсона [549], Х. Канта и Д. Хоффмана и др.). Наконец, весьма полезным окажется биографический справочник

Ю.А. Храмова «Физики» [513], в котором приведены упоминания о том, что ученый создал научную школу (например, в биографиях А.А. Андропова, Н. Бора, С.И. Вавилова, В.Л. Гинзбурга и др.).

Кроме того, следует иметь в виду, что у нормально функционирующих научных школ существует оптимальный возраст, или жизненный цикл [150]. Едва ли заслуживают историко-научного внимания школы-«однодневки», быстро возникающие и также быстро угасающие. Хотя встречается и другая крайность: чрезмерно долго живущие школы могут быть фантомами. Лидер в таких случаях настолько авторитетен, что школа, носящая его имя, фактически, уже распалась, но члены бывшей школы поддерживают иллюзию, что школа еще существует, часто даже после кончины руководителя. Фактический материал показывает, что оптимальный возраст эффективных научных школ колеблется в диапазоне 20–25 лет. Таким, например, был жизненный цикл научных школ Я.Б. Зельдовича, Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси и др. Что касается эффективности не столько лидера, сколько именно научной школы, то следует учитывать суммарный вклад учеников. Например, он был очень значителен в школе Я.Б. Зельдовича (по теоретической астрофизике и космологии) и сравнительно скромнен, например, в случае школы В.А. Фока.

Интересный критерий был также предложен Дж. Морреллом: школа эффективна, когда рост научного авторитета лидера находится в равновесии с ростом его амбиций как главы школы [8]. Этот критерий во многом объясняет феноменальную эффективность школ Л.Д. Ландау и Я.Б. Зельдовича. Конечно, во всех этих случаях речь, как правило, идет о школах, возглавляемых выдающимися учеными, которые выдвигают масштабные исследовательские программы.

В сборнике «Исследования по истории физики и механики. 2014–2015» представлены и другие материалы по научным школам в физике, которые заслуживают внимание. Так, Е.И. Погребысская в статье «С.И. Вавилов — организатор научной школы» [234. С. 207–216] на основе впервые вводимых в научный оборот источников рассмотрела путь С.И. Вавилова к формированию своей научной школы по люминесценции. В статье «Гравитационная школа Д.Д. Иваненко» [Там же. С. 217–236] В.П. Визгин описывает эволюцию исследовательской программы научной школы Д.Д. Иваненко. Особенности генезиса и функционирования научных школ Н.Н. Боголюбова, Д.И. Блохинцева в ЛТФ и Г.Н. Флерова в ЛЯР ОИЯИ и одной из научных

школ по теории атомного ядра на физическом факультете МГУ им. М.В. Ломоносова посвящены соответственно статьи Ю.Г. Рудого [Там же. С. 293–313], А.М. Корзухиной [Там же. С. 266–292] и А.В. Кессениха [Там же. 237–265].

Применение научно-школьного подхода проиллюстрировано также В.В. Кудрявцевым на примере истории отечественной радиоастрономии [Там же. С. 314–348] и А.С. Сониным — при изучении кристаллофизической школы академика А.В. Шубникова [Там же. С. 349–358].

В 2016 г. вышли в свет два специальных номера журнала «История науки и техники» [477; 478], посвященных феномену научных школ в истории отечественной физики. Приведем краткие аннотации опубликованных материалов. В статье В.П. Визгина и А.В. Кессениха [150] приведена карта-схема физических школ, содержащая более 50 наиболее значительных школьных коллективов; на этой схеме выделено несколько основных линий развития от школ-прародительниц до ведущих школ, определявших уровень достижений отечественной физики вплоть до 1970-х гг.

В статье В.В. Кудрявцева [477. С. 24–45] представлена история развития научных школ, оказавших значительное влияние на становление отечественной радиотехники, радиоэлектроники и радиопромышленности. При этом рассмотрены основополагающие результаты, полученные научными школами В.К. Аркадьева, М.В. Шулейкина, Б.А. Введенского, А.Л. Минца, Н.Д. Девяткова и А.А. Пистолькорса.

В статье В.В. Кудрявцева, В.А. Ильина [Там же. С. 46–68] приводятся история развития научной школы академиков АН СССР Л.И. Мандельштама и Н.Д. Папалекси, основополагающие достижения ее лидеров и последователей, создавших собственные научные школы (А.А. Андронов, Г.С. Горелик, С.М. Рытов).

В статье [478. С. 47–72] тех же авторов рассмотрен основополагающий вклад научных школ (радиолокационных групп) Д.А. Рожанского и Ю.Б. Кобзарева в формирование и развитие импульсной радиолокации в нашей стране. При этом описаны достижения научно-исследовательской группы В.А. Котельникова, стоявшей у истоков планетной радиолокации. Кроме того, значительная часть статьи посвящена истории зарождения и развития отечественной радиоастрономии в контексте научных школ (С.Э. Хайкина и В.С. Троицкого).

В статье Г.Н. Гольцмана и Г.М. Чулковой [477. С. 80–89] описана история развития научной радиофизической школы Московского педагогического

государственного университета. В материале Ф.М. Сабировой [Там же. С. 69–79] рассматривается история становления научной школы магнитной радиоспектроскопии. Она сформировалась в середине XX в. в Казанском университете. Вопросы формирования и развития данной школы также исследуются в статье Н.С. Альтшулер, А.В. Кессениха и А.Л. Ларионова [478. С. 18–46]. В статье В.П. Визгина [Там же. С. 3–17] показано, что исследовательская программа гравитационной школы Д.Д. Иваненко была ориентирована, прежде всего, на изучение и преодоление трудностей общей теории относительности и на ее обобщения. Автор отмечает органическую связь школы с научным семинаром Д.Д. Иваненко и его научно-организационной активностью.

Наконец, в материале Л.И. Золотинкиной [Там же. С. 73–95] отражены результаты научной деятельности И.Г. Фреймана, которые, в частности, были использованы при конструировании первой отечественной системы радиовооружения ВМФ «Блокада-1». Важнейшей заслугой И. Г. Фреймана является создание крупнейшей в СССР научной радиотехнической школы, давшей мощный импульс к развитию практически всех основных разделов радиотехники и радиофизики.

Резюмируя, отметим, что научно-школьная проблематика по-прежнему находится в фокусе внимания историков физики. Эвристическая ценность научно-школьного подхода заключается в том, что в нем синтезируются указанные выше «измерения» научной школы. Тем самым, с его помощью можно получить панорамную картину развития отечественной физики в научно-содержательном, научно-организационном, научно-образовательном, личностно-психологическом и социокультурном контекстах («измерениях»). Кроме того, можно более глубоко исследовать и уточнить само понятие научной школы.

Не будем также забывать, что в результате историко-научного исследования историк науки собирает ценный фактический материал, касающийся выдающихся отечественных физиков и связанных с их именами научных школ. При этом возможно удастся открыть и неизвестные ранее научные школы. Вместе с тем, важно понимать, что понятие «научная школа» является историко-научной (и науковедческой) идеализацией. Отклонения от «идеальной школы» не делают научный коллектив «не-школой», а лишь указывают на различные воплощения научной школы в жизни науки.

§ 2.3.4. Научные школы в России и за рубежом

При изучении феномена научных школ и их организации в отечественной науке, возникает закономерный вопрос о существовании подобных форм коллективного творчества за рубежом. Как уже упоминалось, научные школы в физике и химии впервые появляются в Европе в связи с формированием этих наук как дисциплин и появлением исследовательских лабораторий. В этом контексте можно вспомнить школу Ю. Либиха, немецкие физические школы Ф. Кольрауша, А. Кундта, К.Ф. Брауна, В.К. Рентгена, знаменитые школы Э. Резерфорда и Н. Бора.

Лидеры отечественных школ-прародительниц, к которым можно отнести и первую российскую физическую школу — П.Н. Лебедева, были выходцами из указанных западных научных школ: П.Н. Лебедев — из школы А. Кундта; А.Ф. Иоффе — из школы В.К. Рентгена; Л.И. Мандельштам и Н.Д. Папалекси — из школы К.Ф. Брауна; Л.Д. Ландау считал себя учеником Н. Бора; П.Л. Капица (хотя и избегал научно-школьной терминологии) считал себя учеником Э. Резерфорда.

История науки XX в. свидетельствует о том, что в СССР и в послевоенные годы научные школы стали преобладающей формой организации исследователей. Однако в западной физике они во многом утратили свое значение. К. Торн, один из основателей обсерватории «LIGO», известный специалист в области теории гравитации, высоко оценивающий советские гравитационные и вообще теоретические школы (прежде всего, школы Я.Б. Зельдовича, Л.Д. Ландау, И.Е. Тамма) интерпретирует эту ситуацию так: «Практически никому в Британии и в Америке не разрешают сидеть на одном месте под крылышком своего родного учителя, даже если ученик весьма талантлив. Напротив, в СССР выдающиеся молодые физики (такие как И.Д. Новиков) обычно остаются рядом со своим преподавателем десять, двадцать, тридцать, а то и более лет. Ведущие советские физики, такие как Зельдович или Ландау, обычно работают в институтах Академии наук, а не в университетах. Их преподавательская нагрузка мала или ее вообще нет. Оставляя у себя самых лучших студентов, они выстраивают вокруг себя постоянную, крепко спаянную и мощную группу исследователей...» [467. С. 286].

Как отметил член-корреспондент РАН Д.Р. Хохлов, «во времена Советского Союза сформировались уникальные в мировой практике сообщества — научные школы. Эти школы, как правило, возглавлялись выдающимися учеными, имеющими общепризнанные научные заслуги. Вокруг руководителей школы формировался

устойчивый коллектив единомышленников, способный решать крупные проблемы. Государственная система стимулировала формирование таких школ, что явилось залогом выхода российской физики в лидеры мировой науки. В 90-е гг. многие коллективы научных школ фактически распались» [508. С. 263].

Причинами сложившейся ситуации являются: отсутствие или ограничение их финансирования, материально-технической поддержки, отток ученых в другие отрасли, отъезд специалистов за границу. В связи с этим задачи поддержки научных школ и обеспечения их функционирования являются весьма актуальными. В этом отношении прав С.П. Капица, считавший, что «внедрение результатов научных исследований часто наиболее действенно происходит через учеников, воспитанных учеными, через научную школу, созданную учителем...» [248. С. 579].

В большинстве западных стран значительное внимание уделяется мобильности научных коллективов, поэтому научным школам — устойчивым коллективам ученых и носителям определенных традиций, придается минимальное значение. Академик РАН Г.Е. Месяц отмечает: «В России есть научные школы, берущие начало в XIX веке. И можно пофамильно проследить людей — учеников и учителей, — сменяющих друг друга на протяжении столетия. В Америке не так. Там собирается команда под проблему. Проблема решена, люди разбегаются. В таких условиях научную школу не создашь» [341]. В нашей стране сделан акцент на стабильности научных коллективов, поэтому научные школы играют ведущую роль в исследовательской работе и в подготовке научных кадров.

По мнению А.В. Гапонова-Грехова, «опыт стран с развитой наукой состоит в том, что богатое общество предоставляет науке огромные возможности и средства, которые идут на развитие и оснащение самым современным оборудованием научных центров и исследовательских подразделений фирм. Научные центры, как правило, создаются при университетах и являются, вполне естественно, и учебными центрами. Кроме того, существенным отличием западной, в частности американской, науки является импорт интеллекта — они могут себе это позволить, интеллект оплачивается высоко» [157. С. 68]. Далее он продолжает, «наука бывшего СССР, советская наука, была сильна в силу того, что ... во многом сохранила ту структуру и традиции, в которых зародилась великая европейская наука начала XX века... Речь идет о той структуре науки, которая базируется на существовании и развитии научных коллективов и школ. Именно это

обстоятельство является сейчас одной из причин той высокой оценки, которую имеют наши научные результаты и головы за рубежом» [Там же. С. 74]. В США многие лаборатории находятся под управлением университетов и частных фирм, тем самым, государство предоставляет им свободу действий [367].

Академик РАН, лауреат Нобелевской премии Ж.И. Алферов, говоря о так называемой «утечке мозгов», высказал следующую мысль: «...уезжают ученые из всех стран, не только из России. И едут все в Соединенные Штаты, потому что там заниматься наукой лучше. Вопрос не только в финансировании. Важно и то, что результаты исследований там востребованы...» [12].

Что касается современной российской науки, то, на наш взгляд, необходимо сохранить и поддержать существующие научные школы, использовать положительный опыт их деятельности при организации научных учреждений. Конечно, важно учитывать и обратную сторону медали — недостатки научных школ (например, утрата школой новаторского характера, исчерпание потенциала исследовательской программы). Наряду со школами существуют и иные формы организации совместной деятельности ученых, которые могут быть также весьма эффективными («многопрофильный научный коллектив», «научные группы, основанные на принципах гибкого проективного финансирования», «центры перспективных исследований»).

§ 2.4. Научная школа в отечественной радиофизике

§ 2.4.1. Параметры научной школы в отечественной радиофизике

Перед тем, как изучать деятельность отечественных научных школ в радиофизике, следует рассмотреть параметры, по которым их можно идентифицировать и классифицировать. Разумеется, важно учитывать различные трактовки понятия «научная школа», в которых можно выделить общие моменты, а также характерные признаки научной школы, выделенные Ю.А. Храмовым [511], и ее различные «измерения», предложенные В.П. Визгиным и А.В. Кессенихом [150].

Эту информацию необходимо скорректировать, учитывая предмет, характерные особенности и основания радиофизики как науки (см. главу 1). В результате историко-научного анализа [281; 280] были конкретизированы параметры научной школы в радиофизике, которым можно сопоставить определенные измерения (таблица 3).

Научная школа в отечественной радиофизике

Измерения научной школы	Параметры научной школы в радиофизике
Научно-содержательное	<ol style="list-style-type: none"> 1. Теоретические и практические результаты, полученные научной школой. 2. Исследовательская программа (или исследовательские программы). 3. Тематика исследований научной школы. 4. Написание монографий, обобщающих теоретические и практические результаты. 5. Внедрение разработок в различные технологии, военно-промышленный комплекс
Научно-организационное	<ol style="list-style-type: none"> 1. Институциональное оформление (место локализации) научной школы. 2. Наиболее активный период деятельности научной школы. 3. Радиофизические центры, выросшие на основе научной школы
Научно-образовательное	<ol style="list-style-type: none"> 1. Наличие лидера (руководителя) научной школы. 2. Коммуникативное ядро научной школы. 3. Чтение лекций и проведение семинаров участниками научной школы. 4. Формирование кадрового состава (представителей) научной школы. 5. Написание учебных курсов и пособий для студентов
Личностно-психологическое	<ol style="list-style-type: none"> 1. Взаимодействие руководителя научной школы и его учеников. 2. Стиль руководства в научной школе
Социокультурное	<ol style="list-style-type: none"> 1. Взаимодействие с другими научными школами. 2. Взаимоотношения научной школы и государства, оценка ее деятельности обществом

Прокомментируем ряд положений.

Во-первых, необходимо понимать, что в научно-содержательное измерение научной школы входят, фактически, два измерения — научно-теоретическое и научно-практическое. Это особенно характерно для радиофизики, так как она обладает существенной прикладной направленностью. Мы уже неоднократно подчеркивали, что радиофизические методы и устройства широко используются в различных сферах нашей жизни, науки и техники. По этой причине значительное внимание следует уделить практическим приложениям радиофизических знаний, полученных научной школой. В частности, важно подчеркнуть актуальность радиофизических разработок для военно-промышленного комплекса. Например, они оказываются востребованными у специалистов, занимающихся проектированием и созданием РЛС.

Во-вторых, в структуру научно-содержательного измерения входят исследовательская программа и тематика исследований. Прежде всего, выясним, чем различаются данные понятия. На наш взгляд, тематика исследований охватывает весь спектр теоретических и практических работ, выполняемых руководителем научной школы и его учениками, и определяется их научными интересами.

Исследовательская программа — магистральное направление (или магистральные направления в случае супершколы) исследований, проводимых научной школы. Сделаем небольшое отступление и вкратце обсудим понятие «исследовательская программа». В философско-методологический оборот, его ввел И. Лакатос [300]. Согласно его методологической концепции, исследовательская программа — основная единица развития научного знания, а эволюция науки происходит в результате смены исследовательских программ. У всех исследовательских программ существует «жесткое ядро» — совокупность утверждений (гипотез), которые составляют основу исследовательской программы. По соглашению участников исследований, гипотезы «жесткого ядра» признаются неопровержимыми. Оно должно быть защищено от контраргументов, для чего вводится такой элемент, как «защитный пояс» — набор вспомогательных гипотез.

Рассуждая о деятельности «защитного пояса», И. Лакатос ввел понятия положительной и отрицательной эвристики. Положительная эвристика состоит из предположений, направленных на развитие «опровержимых вариантов» исследовательской программы, на уточнение и модификацию «защитного пояса», на

улучшение опровергаемых следствий для более эффективной защиты «ядра». Отрицательная эвристика запрещает использовать логическое правило *modus tollens* («рассуждение от противного»), когда речь идет об утверждениях, включенных в «жесткое ядро», для обеспечения невозможности сразу же фальсифицировать теорию. Поэтому ученые стараются выдвигать гипотезы, объясняющие все новые «аномалии», т. е. факты, не укладывающиеся в рамки теории.

По мнению И. Лакатоса, любая исследовательская программа проходит две стадии: прогрессивную и вырожденную (регрессивную). В прогрессивной стадии ведущую роль играет положительная эвристика. Теория динамично развивается, и каждый следующий шаг способствует ее улучшению: она объясняет все больше положений и позволяет предсказывать неизвестные факты. Но со временем исследование может достигнуть такой стадии, когда основные усилия будут направлены не на развитие гипотез, а на защиту теории от контрпримеров с помощью отрицательной эвристики и уловок *ad hoc*. В таком случае «защитный пояс» становится вместилищем гипотез, слабо связанных с «жестким ядром», и в какой-то момент он «распадается». Этот момент называется «пунктом насыщения» исследовательской программы. На смену существующей исследовательской программе приходит альтернативная.

Таким образом, представители научной школы могут иметь разные профессиональные интересы, что определяют широту их тематики исследований и научного кругозора. Однако, оставаясь в рамках научной школы, они, прежде всего, работают по предложенной руководителем исследовательской программе.

В-третьих, анализ фактического материала по истории отечественной физики позволяет выделить три типа научных школ: теоретические, экспериментальные (в том числе, инженерные и инструментальные), смешанные. В связи с этим исследовательская программа может носить научно-теоретический и/или научно-практический характер.

В-четвертых, в научно-организационном измерении следует отметить роль научных школ в формировании современных радиофизических центров. Другими словами, со смертью руководителя научной школы она не всегда прекращает свою деятельность. Именно поэтому часто достаточно трудно определить «жизненный цикл» той или иной научной школы. В связи с этим мы будем указывать наиболее активный период ее деятельности. В Приложении 7 показано, что научные школы являются своеобразными центрами кристаллизации будущих научных коллективов вузов, НИИ.

В-пятых, формирование и деятельность научных школ на высококачественной институциональной базе с достаточно развитой инфраструктурой (прежде всего по подготовке кадров) может происходить и при отсутствии единого лидера (например, научная школа в области теории строения атомного ядра в НИИЯФ МГУ), но обязательно с участием значительного числа быстро растущих специалистов соответствующего профиля. Кроме, того может существовать такая ситуация как лидеры без школ или почти без школ. В этом случае выдающиеся ученые работают индивидуально и либо вообще не имеют учеников, либо сравнительно немного учеников, которые не охвачены единой исследовательской программой. Подобные примеры приводят В.П. Визгин и А.В. Кессених в исследованиях, посвященных развитию гравитации, теоретической астрофизики и космологии [150; 234]. Речь, прежде всего, идет о таких лидерах отечественной науки как В.А. Фок, Я.И. Френкель.

В-шестых, коллектив ученых-радиофизиков можно считать научно-школьным объединением при условии, что в их деятельности представлены указанные «измерения». Будем считать, что только в этом случае к ним можно применить параметры из таблицы 3. Тем самым, у историка науки появляется возможность идентифицировать научные школы в радиофизике.

§ 2.4.2. Схема изложения материала о радиофизической школе

Итак, мы выявили оценочные параметры научной школы в радиофизике. Теперь нам предстоит решить следующий вопрос: «Как именно рассматривать каждую научную школу?». Конечно, здесь не может быть пошаговой инструкции, так как все научные школы обладают индивидуальными характеристиками. Вместе с тем, можно попытаться набросать в общих чертах схему изложения дальнейшего материала. На наш взгляд, она должна включать в себя следующие элементы.

1) Источники литературы: обзор наиболее важных источников информации, которые будут использованы в ходе историко-научной реконструкции деятельности научной школы.

2) Направление радиофизики: описание раздела радиофизики, в котором работает научная школа.

3) Научная биография руководителя научной школы: рассмотрение основополагающих теоретических и практических результатов, полученных лидером

научной школы.

4) Становление научной школы: внутренние и внешние факторы, оказавшие влияние на ее формирование, институциональная основа научной школы.

5) Исследовательская программа научной школы: определение магистрального направления исследований научной школы и его эволюция.

6) Стиль руководства в научной школе: педагогическая деятельность лидера научной школы, атмосфера в коллективе, влияние лекционных и семинарских занятий на становление участников научной школы.

7) Представители научной школы: список некоторых учеников с краткой характеристикой результатов их деятельности.

8) Результаты научной школы: вклад научной школы в развитие отечественной радиофизики, его оценка государством и обществом, заполнение таблицы «Параметры научной школы в отечественной радиофизике» применительно к каждой научной школе (данная информация будет приведена в Приложении 4).

В работе будет также рассмотрена деятельность некоторых современных радиофизических центров, сформировавшихся на основе научных школ. В заключение исследования планируется привести схему, отображающую рассмотренные научные школы в отечественной радиофизике.

Стремительное развитие отечественной радиотехники, СВЧ-техники, разработка теории нелинейных колебаний, появление различных радиолокационных и радиоэлектронных систем обеспечили прочный теоретический и эмпирический фундамент будущей радиофизической науки.

Во многом благодаря успешному функционированию научных школ в нашей стране произошло превращение радиофизики в самостоятельное научное направление, обладающее собственным предметом и методами исследования.

Доказательство этого тезиса — основная цель историко-научного исследования. Важно показать, что научные школы оказали решающее влияние как на зарождение, так и на последующее развитие радиофизики в нашей стране. Иначе говоря, нам предстоит реконструировать деятельность научных школ, которые функционировали (и, возможно, продолжают функционировать) на протяжении этапов IV, V и VI (см. периодизацию этапов развития радиофизики, приведенную в главе 1).

Выводы по главе 2

1. Показано, что, учитывая специфику предмета и характерные особенности радиофизики, ее этапы эволюции, к истории радиофизики, следует применять комплексный подход. Одним из них может стать исследование деятельности научных школ в отечественной радиофизике.

2. Отмечено, что понятие «научная школа» редко употребляется в зарубежных работах по философии и социологии науки. Как правило, оно используется лишь в историко-научном контексте. Это связано с тем, что в большинстве западных стран значительное внимание уделяется мобильности научных коллективов, поэтому научным школам — устойчивым коллективам ученых и носителям определенных традиций, придается минимальное значение. В нашей стране сделан акцент на стабильности научных коллективов, поэтому научные школы играют ведущую роль в исследовательской работе и в подготовке научных кадров.

3. Выявлено в результате анализа работ отечественных философов и историков науки, что научные школы являются эффективной формой организации коллективного научного творчества, в рамках которой происходят трансляция научного знания, освоение методологии научно-исследовательской работы, а также подготовка научных кадров.

4. Выделены на основе изучения историко-научной литературы, работ по социологии науки и науковедению ряд этапов в эволюции научных школ. В настоящее время в российской науке продолжают функционировать три типа научных школ: научно-образовательные, школы как исследовательские коллективы и школы как направления.

5. Приведен обзор процессов формирования научных школ в России (досоветский период) и зарождения советских научных школ в физике.

6. Рассмотрен научно-школьный подход с точки зрения историков физики. Он состоит в том, чтобы историю науки представить как процесс возникновения, развития и ветвления научных школ. Обоснована целесообразность применения научно-школьного подхода к истории отечественной физики XX в.

7. Подчеркнута многомерность понятия научной школы и научно-школьного подхода. При этом можно выделить научно-содержательное, научно-организационное, научно-образовательное, личностно-психологическое, социокультурное измерения

научной школы.

8. Конкретизированы в результате историко-научного анализа параметры научной школы в радиофизике, которым можно сопоставить определенные измерения.

9. Предложена общая схема изложения материала о научных школах в радиофизике, которая включает в себя ряд элементов.

10. Сформулирована основная цель историко-научного исследования — показать, что благодаря успешному функционированию научных школ в нашей стране произошло превращение радиофизики в самостоятельное научное направление, обладающее собственным предметом и методами исследования. Для этого важно показать, что научные школы оказали решающее влияние как на зарождение, так и на последующее развитие радиофизики в нашей стране.

Глава 3. Зарождение отечественной радиофизики.

Научные школы в области радиотехники

Рассмотрев в предыдущих главах предмет и методы радиофизики, ее характерные особенности и основания, а также определив оценочные параметры научных школ в радиофизике, мы приступаем к историко-научному анализу их деятельности. В главе 1 мы выяснили, какие внутренние факторы (иначе говоря, логика развития научных знаний в области радиотехники) привели к формированию в 1930–1940-х гг. радиофизики как науки.

Для того чтобы выявить внешние факторы, оказавшие влияние на этот процесс, необходимо рассмотреть истоки зарождения отечественной радиофизики. Значительное внимание следует уделить описанию первых радиотехнических центров, а также научных школ в области радиотехники.

§ 3.1. Формирование первых радиотехнических центров

По мнению выдающегося советского физика и главного редактора журнала «УФН» (1930–1975 гг.) Э.В. Шпольского, «история развития радиофизики в СССР во многом напоминает историю развития оптики. В том и другом случае мы имеем дело с дисциплиной, имеющей важнейшие применения в технике, культуре и обороне страны; в том и другом случае, вопреки своей важности, эти дисциплины в дореволюционной России находились на низком уровне развития» [523. С. 251].

А.Д. Фортушенко писал, что, «в России — родине радио — к моменту Октябрьской революции 1917 г. внедрение радиосвязи значительно отставало от других капиталистических государств, несмотря на наличие значительной группы квалифицированных и инициативных русских радиоспециалистов» [481. С. 42]. Обсудим более детально причины сложившейся ситуации.

Согласно А.Л. Минцу, «условия, господствовавшие в старой, дореволюционной России, тормозили претворение в жизнь замечательного изобретения А.С. Попова. Для успешного развития радиоэлектроники были необходимы мощная промышленная база, хорошо оборудованные научно-исследовательские лаборатории и подготовленные кадры специалистов. В то время в нашей стране это было недостижимо, и мы не могли

соперничать с высокоразвитыми капиталистическими странами Запада. Неудивительно поэтому, что уже вскоре после изобретения радио Россия оказалась вынужденной закупать радиотехническую аппаратуру у иностранных фирм, которые быстро проникли на русский рынок» [351. С. 45].

Соратник А.С. Попова А.А. Петровский отмечал, что «дело, начатое им (А.С. Поповым — В.К.) и ушедшее за границу, вследствие косности русских капиталистов и недоверия к русским научным работникам, разрослось в грандиозное предприятие, связавшее Старый и Новый свет» [400. С. 142].

В дореволюционной России сложности на пути развития радиофизики (как и физики в целом) начинались с подготовки научных кадров. В то время их обучение проводилось на кафедрах университетов. Среди них ведущими были Московский, Санкт-Петербургский, Казанский, Киевский, Варшавский, Новороссийский, Дерптский (Тартуский) и некоторые др. В их стенах велась и научная работа. Однако, специальных научных учреждений в то время не существовало. Радиотехникой занимались физики, проводившие исследования электромагнитных колебаний и волн, а также инженеры-электрики, заинтересовавшиеся этим научным направлением.

Кроме того, государственные капиталовложения в науку и поддержка научно-исследовательской деятельности в дореволюционной России были крайне незначительными. В отличие от других стран слабым было также участие частного капитала в развитии науки. Эта ситуация была диаметрально противоположна той, что сложилась на Западе, где крупнейшие фирмы инвестировали в научные исследования значительные денежные средства.

К еще одной немаловажной причине научного и технического отставания дореволюционной России относится недостаточно высокий уровень университетского образования. По этой причине молодые люди, которые хотели профессионально заниматься физикой, уезжали учиться, стажироваться и работать за границу. Так, А.Ф. Иоффе работал под руководством В.К. Рентгена в Мюнхенском университете, Н.Д. Папалекси и Л.И. Мандельштам были ассистентами у К.Ф. Брауна в Страсбургском университете; там же у А. Кундта начинали свой творческий путь П.Н. Лебедев, В.К. Рентген и Б.Б. Голицын. Такое положение дел обуславливало отсутствие в России активно действующих научных школ (за исключением общепризнанной школы П.Н. Лебедева) и невысокие темпы развития физической науки.

Формирование радиотехнической промышленности в дореволюционной России тормозилось ее сильной зависимостью от иностранного капитала [165; 396]. Радиооборудование в нашей стране не изготовлялось, а собиралось из ввезенных из-за рубежа узлов и деталей на двух основных предприятиях — заводе «Акционерного общества русских электротехнических заводов» и заводе РОБТиГ. Отметим, что «Акционерное общество русских электротехнических заводов» было филиалом германской фирмы «Телефункен» (объединившей такие предприятия, как «Сименс и Гальске» и «Всеобщая электрическая компания»), а РОБТиГ фактически принадлежал английской фирме «Маркони».

Поражение российского флота в Русско-японской войне 1905 г., связанное, в частности, с общим военно-техническим отставанием и неудачным использованием радиотехнических средств командованием 2-й Тихоокеанской эскадры, остро поставило вопрос об организации собственного производства радиоаппаратуры. При этом обострились нерешенные проблемы: зависимость выполнения военных заказов от иностранных государств, срыв сроков поставок, отток из страны огромных денежных средств, слабое развитие собственных научных разработок в области радиотехники.

Интересной представляется также точка зрения американского ученого, одного из ведущих зарубежных экспертов по истории российской науки Л. Грэхэма. В книге [199] он рассматривает историю технологических изобретений в России, анализируя этапы становления военных технологий, энергетики, железнодорожного транспорта, авиации, производства полупроводников, компьютеров и др. По мнению Л. Грэхэма, «успех конкретной технологии, который обычно означает получение прибыли в условиях конкурентного международного рынка, происходит за стенами исследовательской лаборатории, в социальной и экономической среде общества в целом. Преуспеть в этом русским не удастся. Где российские Томас Эдисон, Билл Гейтс или Стив Джобс?

Фактически они есть, но вы никогда о них не слышали, потому что они с треском провалились, когда попытались коммерциализировать свои изобретения в России» [Там же. С. 7–8], — считает автор книги. Данный вывод Л. Грэхэм подтверждает конкретными примерами. Для нас наибольший интерес представляет история с изобретением радио и его «коммерциализацией». Л. Грэхэм пишет, что «Попов считал себя ученым, а вовсе не изобретателем, создающим коммерческий проект. Он не озаботился тем, чтобы вовремя получить патент на свое изобретение и, таким образом,

защитить свой приоритет. Ему это было попросту неинтересно. Он полагал, что закрепил первенство тем, что представил его научным кругам, не отдавая отчета в том, что среди ученого сообщества были люди, которые вскоре присвоили его идеи. Попов был типичным “русским интеллигентом”, гордившимся отсутствием коммерческих интересов» [Там же. С. 36].

В контексте обсуждаемой проблемы еще одной причиной отставания научных исследований в дореволюционной России от зарубежных разработок является особый менталитет русских ученых. Они не стремились патентовать свои изобретения и коммерциализировать свои инновационные идеи. Кроме того, не находя необходимой финансово-материальной поддержки со стороны государства многие выдающиеся русские изобретатели были вынуждены уезжать за границу и пробовать там реализовать свои идеи. В качестве примеров можно привести В.К. Зворыкина, П.Н. Яблочкова, А.Н. Лодыгина и др. Хотя, конечно, нужно учитывать определенные политические и социально-экономические факторы, повлиявшие на судьбу того или иного ученого и его творческого наследия. Об этом можно прочитать в работе В.П. Борисова [116].

Таким образом, можно выделить следующие причины слабого развития радиотехники в дореволюционной России.

- Отсутствие развитой промышленной базы, хорошо оборудованных научно-исследовательских лабораторий и опытно-конструкторских предприятий.
- Незначительные государственные капиталовложения в научные исследования, недостаточная поддержка русскими предпринимателями научных разработок.
- Недостаток специализированных учреждений по подготовке научных кадров в области радиотехники.
- Сильная зависимость радиотехнической промышленности от иностранных инвестиций, доминирование зарубежной радиоаппаратуры на отечественном рынке.
- Недостаточное внимание русских ученых к практической реализации и коммерциализации своих изобретений.

Несмотря на указанные причины, существенно тормозившие развитие отечественной радиотехники, говорить о том, что в дореволюционной России вообще отсутствовали какие-либо центры радиотехнической мысли, было бы не корректно. Для доказательства этого факта рассмотрим деятельность ряда радиотехнических центров, действовавших в этот период.

§ 3.1.1. Радиотелеграфный завод Морского ведомства

В 1900 г. при участии А.С. Попова была открыта мастерская для ремонта и производства приборов беспроводной связи в одном из корпусов электромеханического завода Кронштадтского военного порта. Ее руководителем стал его соратник Е.Л. Коринфский. В период с 1901 по 1904 гг. мастерская изготовила и установила на кораблях и береговых объектах около 50 радиостанций. В 1910 г. на базе Кронштадтской радиотелеграфной мастерской в Гребном порту Санкт-Петербурга было создано Радиотелеграфное депо Морского ведомства (рис. 2п). В 1915 г. оно было преобразовано в Радиотелеграфный завод Морского ведомства (для краткости будем использовать термин «Радиотелеграфный завод»).

Фактически, это было первое радиотехническое предприятие, выпускавшее радиостанции мощностью 10 и 25 кВт, радиоприемники, радиопеленгаторы, тиккеры (электромеханические прерыватели) и другую отечественную радиоаппаратуру. Радиотелеграфный завод обслуживал только военно-морской флот, для армии и почтово-телеграфного ведомства радиотехническую продукцию поставляли упомянутые выше иностранные фирмы. О масштабах его производства говорят следующие цифры. В 1914 г. в Радиотелеграфном депо было изготовлено 96 радиопередатчиков различной мощности и назначения, 5 радиопеленгаторов, 140 радиоприемников, 110 волномеров, 50 приборов для обучения радиоприему на слух.

В 1915 г. Радиотелеграфный завод выпустил около 70 радиопередатчиков различной мощности, около 200 радиоприемников различного назначения, 25 тиккеров, 110 волномеров; на кораблях было установлено 20 радиостанций. Завод смог достаточно быстро организовать в лаборатории и в своих мастерских ряд производств, которые позволили изготавливать те части и детали приборов, которые до войны импортировали из-за границы [363].

В 1915 г. на вооружение военно-морского флота был принят двухконтурный приемник для корабельных и береговых радиостанций, разработанный И.Г. Фрейманом и М.В. Шулейкиным в Радиотелеграфном депо. В 1913–1918 гг. М.В. Шулейкин, работая на Радиотелеграфном заводе, организовал и возглавил первую в России заводскую лабораторию по изготовлению радиотехнических и измерительных приборов (искровых передатчиков, детекторных приемников, волномеров, мостиков для

измерения емкостей и индуктивностей и др.).

В 1916 г. М.В. Шулейкин на линкоре «Андрей Первозванный» установил радиотелеграфную связь между Петроградом и Гельсингфорсом (Хельсинки) на незатухающих высокочастотных колебаниях с частотой 20 кГц. В качестве генератора таких колебаний использовалась высокочастотная машина В.П. Вологодина.

После появления первых электронных ламп Радиотелеграфный завод приступил к изготовлению ламповых радиостанций для российского флота. Конструированием и выпуском приемно-усилительных ламп занимался В.И. Волынкин [399]. Радиолампы его конструкции, выпущенные в 1915 г., имели вольфрамовый катод прямого накала и коэффициент усиления, равный 10. Опытные образцы таких ламп ЛЭ1 по своим параметрам были близки к французским лампам типа R5.

На основе ламп ЛЭ1 была изготовлена различная радиоаппаратура. В качестве примера на рис. 3п показан внешний вид лампового радиоприемника «ПР-6-4», в схеме которого использовались четыре лампы ЛЭ1. Радиоприемник был рассчитан на работу в диапазоне волн 300–1500 м.

К 1922 г., на Радиотелеграфном заводе было организовано мелкосерийное производство триодов Р-5 с горизонтальным расположением электродов, цилиндрическим анодом и вольфрамовым катодом. В 1923 г. В.И. Волынкин создал первый промышленный образец советской электронной лампы, который демонстрировался на Первой Всесоюзной сельскохозяйственной выставке в Москве.

Успешная работа группы радиоспециалистов Радиотелеграфного завода, в которую входили М.В. Шулейкин, Н.Н. Циклинский, С.И. Зилитникевич, А.А. Петровский, В.П. Вологдин, И.Г. Фрейман, В.И. Волынкин, Л.Д. Исаков, В.С. Габель, позволила к началу Первой мировой войны обеспечить военные корабли русского флота отечественными средствами радиосвязи, вытеснив иностранную радиоаппаратуру. В этом контексте уместно привести слова помощника начальника радиоотдела Главного Управления Кораблестроения капитана А.М. Щастного, который «обрисовал значение нового учреждения, как форпоста в борьбе за русскую радиотехнику» [54. Л. 7].

Тем не менее, несмотря на успехи, Радиотелеграфный завод столкнулся с множеством проблем: бюрократическая волокита с документами, определяющими финансирование, частое «урезание» бюджета, отсутствие возможности оперативного приобретения за рубежом необходимых для производства материалов, комплектующих,

инструментов. Достойного финансирования, которое бы позволило собрать на этом предприятии лучшие интеллектуальные силы России, добиться так и не удалось.

Проследим историю развития Радиотелеграфного завода до наших дней [11]. После Октябрьской революции завод перешел в ведение Морского отдела Технического производственного управления ГУВП. В 1923 г. приказом ГУВП предприятие было переименовано в «Петроградский радиотелеграфный завод им. Коминтерна». В 1926 г. на заводе под руководством А.Ф. Шорина был организован отдел специальной аппаратуры, который занимался разработками буквопечатающих телеграфных аппаратов и аппаратуры для звукового кино. В период 1928–1930-х гг. коллективом завода была разработана и выпущена аппаратура для радиоэлектронной системы вооружения «Блокада-1».

В 1930 г. под руководством А.Л. Минца была организована ОРПУ. В 1930–1934 гг. велись разработка и выпуск магистральных коротковолновых передатчиков, создание ряда мощных радиовещательных станций (в том числе, радиостанции им. Коминтерна). В 1935 г. Радиотелеграфный завод был реорганизован в КМР им. Коминтерна. В 1937 г. в связи с решением Правительства о создании сети мощных радиостанций на Дальнем Востоке на территории завода началось строительство дополнительных производственных корпусов, благодаря чему он превратился в крупное радиотехническое предприятие. В 1947 г. при заводе было создано ЦКБ, а в 1967 г. оно было преобразовано во ВНИИМР им. Коминтерна, включающее опытное производство (впоследствии завод им. Коминтерна). В 1980-е гг. завод им. Коминтерна получил новое название — «Прибой». В начале 1990-х гг. произошло сокращение объема государственных заказов, а в 1992 г. НПО им. Коминтерна распалось на отдельные предприятия: РИМР, завод радиоэлектроники «Прибой» и завод «Волна».

В заключение приведем высказывание В.П. Вологодина, который принимал активное участие в организации и работе Радиотелеграфного завода. «За свою техническую жизнь я присутствовал при рождении и принимал участие в работе около десятка крупных лабораторий и институтов, в том числе и оставившей громадный след в советской радиотехнике Нижегородской РЛ, но ни одна из лабораторий не была так гармонично построена, как депо Морского Ведомства» [54. Л. 9].

Таким образом, Радиотелеграфный завод сыграл определяющую роль в обеспечении ВМФ радиоаппаратурой отечественного производства. Другой его

заслугой стала подготовка квалифицированных кадров инженеров-радиотехников.

§ 3.1.2. «Русское общество беспроволочных телеграфов и телефонов» (РОБТиТ)

В 1908 г. в Санкт-Петербурге известным радиоинженером и предпринимателем С.М. Айзенштейном было организовано «Общество беспроволочных телеграфов и телефонов», которое с 1910 г. стало называться «Русское общество беспроволочных телеграфов и телефонов». В основу технологии производства радиоаппаратуры, выпускавшейся заводом РОБТиТ (рис. 4п), были положены научные разработки С.М. Айзенштейна — одного из пионеров беспроволочной телеграфии [398; 167; 96]. Так, в 1901 г. в Киеве он продемонстрировал радиосвязь на короткие расстояния с помощью самодельного радиопередатчика и когерентного приемника.

В 1904 г. С.М. Айзенштейн получил патент на аппарат беспроволочного телеграфа, организовал частную лабораторию, где собиралась радиоаппаратура по заказам военного ведомства. Кроме того, он построил экспериментальные радиостанции в Киеве и Жмеринке (1906–1907 гг.), что позволило установить радиосвязь между тремя городами — Жмеринкой, Севастополем и Одессой.

В период Первой мировой войны к научным исследованиям, проводимым в РОБТиТ С.М. Айзенштейном, был привлечен Н.Д. Папалекси (впоследствии академик АН СССР). Он стал консультантом по физическим вопросам и заведующим опытной лабораторией РОБТиТ, в которой проводились работы по радиопеленгации, разработке усилительных и генераторных электронных ламп («катодных реле» по терминологии того времени), новых ламповых схем радиоприемников и радиопередатчиков.

Конструирование радиоламп было совершенно новым делом. Первые радиолампы были газовыми: разреженное пространство баллона содержало некоторое количество воздуха с примесью паров ртути или инертного газа. Электрический ток в них определялся не только электронами, испускаемыми катодом в результате термоэлектронной эмиссии, но и ионами, образованными при воздействии этих электронов на молекулы газа. Основная трудность в изготовлении вакуумных ламп была связана с разработкой высоковакуумных насосов. Только в 1916 г. появилось описание ртутного насоса И. Ленгмюра, с помощью которого удалось создать низкое давление, необходимое для изготовления вакуумных электронных ламп.

Однако на заводе РОБТиТ не было своего стеклодувного и вакуумного производства. Н.Д. Папалекси обратился за помощью к инженеру Н.А. Федорицкому — основателю и владельцу мастерской рентгеновских трубок, которая впоследствии переросла в «Первый русский завод рентгеновских трубок» в Петрограде. Здесь и было освоено изготовление стеклянных баллонов, припаивание к баллону необходимых отростков, крепление в нем металлических частей, удаление из баллона воздуха, снабжение наружной арматурой.

В совокупности это позволило за сравнительно небольшой промежуток времени (август–сентябрь 1914 г.) создать первую в России усилительную трехэлектродную лампу, получившую название «лампа Папалекси» (рис. 5п) [399]. На лампах Папалекси были построены двух- и трехкаскадные усилители звуковой частоты, гетеродины и ламповые приемники для армии и авиации. При этом авиационные радиоприемники испытывал в воздухе сам Н.Д. Папалекси.

В лаборатории завода РОБТиТ для первых ламповых радиопередатчиков были также изготовлены образцы мощных генераторных ламп мощностью 100, 150 и 250 Вт. Отметим, что радиоаппаратура, сконструированная на лампах Папалекси, значительно увеличила чувствительность радиоприемников, применявшихся тогда в армии.

Наряду с этой интенсивной научно-технической деятельностью, Н.Д. занимался и теоретическими вопросами. Работая в РОБТиТ, он выполнил обширное исследование по теории возбуждения колебаний с помощью электронных ламп. Оно было опубликовано существенно позднее, а вторая его часть, в которой был успешно применен метод припасовывания (см. главу 4), осталась неопубликованной.

Появление радиоламп позволило заводу РОБТиТ приступить к разработке и выпуску ламповой радиоаппаратуры — радиоприемников, усилителей, гетеродинов. В декабре 1914 г. С.М. Айзенштейн провел вместе с Н.Д. Папалекси первые в России опыты по радиотелефонии с помощью ламповых передатчиков мощностью в несколько ватт. В 1915 г. при участии Н.Д. Папалекси была реализована первая в России радиотелефонная линия «Петроград — Царское Село» (расстояние 25 км), а годом позже были проведены исследования возможности радиотелеграфной связи между берегом и погруженной подводной лодкой. В них была установлена зависимость силы радиосигнала от глубины погружения и длины волны. При этом Н.Д. Папалекси сам плавал на подводной лодке и выполнял соответствующие эксперименты [475].

В этот же период он изучал направленное радиоизлучение и проводил опыты по радиоуправлению. С этой целью на Гатчинском аэродроме испытывалось устройство, состоящее из двух тележек. На одной из них находился искровой передатчик, а на другой тележке, поставленной на три велосипедных колеса и снабженной рулем, — приемник, реле и мотор постоянного тока. По сигналам, отправленным с первой тележки, вторая тележка приходила в движение, совершала повороты, останавливалась. В 1917 г. Н.Д. Папалекси проводил опыты по телеграфированию незатухающими колебаниями между Петроградом и подводной лодкой, находившей в Гельсингфорсе, эксперименты по управлению подводными лодками на расстоянии и руководил разработкой мощных усилителей для телеуправления самолетами.

В связи с началом Первой мировой войны РОБТиТ получил срочный правительственный заказ на изготовление искровых радиостанций для установления связи со странами Антанты. В 1914 г. на основе научных разработок С.М. Айзенштейна завод РОБТиТ построил мощные передающие искровые радиостанции — Ходынскую в Москве и Царскосельскую под Петроградом (мощностью по 100 кВт каждая), а также приемную радиостанцию в Твери. Ходынская и Царскосельская радиостанции воплотили в себе передовые идеи искрового способа передачи информации.

После Октябрьской революции С.М. Айзенштейн остался в России. В начале 1918 г. он эвакуировал наиболее ценное лабораторное оборудование и инженерно-технический персонал в Москву (на Шаболовку), где еще в 1915 г. был создан филиал РОБТиТ по производству электромоторов. В Москве заводская лаборатория РОБТиТ под руководством В.М. Лебедева проводила работы по совершенствованию средств радиоприема, проектированию и монтажу аппаратуры для 100-киловаттной радиостанции на Шаболовке. Ее антенная башня была сконструирована известным инженером В.Г. Шуховым. Строительство радиостанции, закончившееся в 1921 г., велось под руководством С.М. Айзенштейна. В этом же году его дважды арестовывала московская ВЧК. Это вынудило С.М. Айзенштейна, талантливого радиоинженера, основателя первого в России радиотехнического журнала «Вестник телеграфии без проводов», эмигрировать в Англию к своему бывшему компаньону Г. Маркони.

В Европе С.М. Айзенштейн руководил строительством радиотехнических заводов в Польше и Чехословакии, а также занимал пост генерального директора «English Electric Valve Co. Ltd.». Отметим, что он был одним из активных участников разработки

проекта радиосети СССР, в частности, Транссибирской радиомагистрали. Выступая с докладами и статьями в радиотехнических журналах, С.М. Айзенштейн внес существенный вклад в пропаганду радиофикации нашей страны.

Итак, РОБТиТ за сравнительно недолгий период своей научной деятельности (около 10 лет) сыграло важную роль в становлении отечественной радиотехнической промышленности. Оно стало крупнейшим поставщиком средств радиосвязи в дореволюционной России. К 1917 г. завод построил более половины мощных радиостанций страны, в том числе в Царском селе, Твери, Москве, Архангельске, Тифлисе и др. Тем не менее перед началом Первой мировой войны по количеству радиостанций и их мощности Россия занимала одно из последних мест среди стран, обладавших станциями беспроволочной телеграфии [5]. 28 июня 1918 г. завод РОБТиТ был национализирован и законсервирован на длительное время. После национализации промышленности ГЭТЗСТ (создан в 1922 г.) на базе РОБТиТ в 1923 г. была организована ЦРЛ.

§ 3.1.3. Российское общество радиоинженеров (РОРИ)

Как отметил М.В. Шулейкин, «РОРИ возникло в 1918 году и имело цель объединить наши разрозненные радиотехнические силы. В условиях блокады, только радиоприемник дал возможность узнавать, что делается за границей. В следующие годы РОРИ продолжало сплочение радиотехнических сил и выступало по целому ряду вопросов» [72. Л. 4]. Возникшее 14 июля 1918 г. РОРИ стало третьим в мире радиотехническим обществом после американского (1912 г.) и голландского (1916 г.) обществ радиоинженеров. Собрания РОРИ проходили почти еженедельно.

РОРИ стало первым добровольным научно-инженерным объединением отечественных радиоспециалистов [298; 431]. Оно было создано в Петрограде по инициативе В.К. Лебединского, А.А. Петровского, В.И. Баженова, М.А. Бонч-Бруевича, М.В. Шулейкина и др. Председателем РОРИ был избран профессор В.К. Лебединский, его заместителем — военный инженер А.В. Водар, а секретарем — инженер Радиотелеграфного завода Морского ведомства Н.Н. Циклинский. Отделения общества находились в Москве, Петрограде, Н. Новгороде, Киеве, Одессе и других городах.

Среди членов РОРИ (рис. 6п) были выдающиеся ученые и инженеры в области радиотехники — М.В. Шулейкин, А.А. Петровский, В.К. Лебединский, М.А. Бонч-

Бруевич, И.Г. Фрейман, Д.А. Рожанский, В.П. Вологдин, А.Ф. Шорин, а также сотрудники завода РОБТиТ С.М. Айзенштейн, Р.В. Львович, В.М. Лебедев, фирмы «Сименс и Гальске» — А.А. Савельев, Л.И. Сапельков, Радиотелеграфного завода Морского ведомства — Н.Н. Циклинский, В.И. Волынкин и др.

Председателем московского правления РОРИ стал М.В. Шулейкин, во главе Петроградского отделения РОРИ был А.А. Петровский, а работу Нижегородского отделения РОРИ возглавил В.К. Лебединский. Московский филиал РОРИ принимал активное участие в мероприятиях, связанных с развитием и использованием достижений радиотехники в народном хозяйстве, в конкурсных и экспертных советах, в разработке учебных планов и программ радиотехнических вузов и факультетов.

Помимо докладов об оригинальных теоретических и экспериментальных работах членов общества, в РОРИ проводились заседания, на которых рассматривались актуальные вопросы радиотехники. После докладов начиналась оживленная дискуссия, которая завершалась заключительным словом М.В. Шулейкина.

В рассматриваемом контексте уместно привести слова А.Л. Минца — ученика М.В. Шулейкина: «Если вспомнить, что в первые годы существования Российского общества радиоинженеров в высших учебных заведениях еще не было настоящей специализации по радио, то приходится признать, что заседания Общества были для его членов вторым университетом. Неожиданность выводов Михаила Васильевича заставляла часто после заседаний еще подолгу задумываться над возникшими вопросами, а часто и искать новые творческие пути для их разрешения. Особенно радостными были те заседания, когда Михаил Васильевич сам выступал в качестве докладчика. Его своеобразная манера изложения научного материала, огромная глубина проникновения в проблемы, которыми он занимался, яркость и образность изложения делали его доклады настоящим праздником для слушателей» [351. С. 161].

С 1922 г. заседания Общества были перенесены в квартиру М.В. Шулейкина, которая размещалась в доме № 20 в Мертвом переулке. Любопытно, что в подвале именно этого дома находилась лаборатория П.Н. Лебедева, после его ухода в 1911 г. из Московского университета в знак протеста против действий царского министра просвещения Л.А. Кассо.

В 1929 г. РОРИ вошло в состав ОДР в качестве инженерно-научной и технической секции. К сожалению, на работоспособности этой секции и на

перспективах ее дальнейшего развития отрицательно сказались массовые репрессии 1930-х гг. Так, в 1936–1937 гг. были репрессированы девять членов-учредителей РОРИ: В.В. Баженов, А.В. Водар, П.И. Епанешников, Л.Д. Исаков, Ф.А. Миллер, К.Ф. Престин, Г.М. Петухов, Л.И. Сапельков, А.Т. Углов. В 1935 г. ОДР перестало существовать, но наиболее активные члены РОРИ продолжили свою деятельность в других научно-технических объединениях, одновременно не прекращая попытки создать свое специализированное общество. Однако этим планам помешала Великая отечественная война. Только в мае 1945 г. на конференции, посвященной 50-летию радио, было учреждено Всесоюзное научное общество радиотехники и электросвязи им. А.С. Попова (ныне РНТОРЭС им. А.С. Попова).

§ 3.1.4. Нижегородская радиолaborатория (НРЛ)

21 июля 1918 г. СНК издал подписанный В.И. Лениным декрет «О централизации радиотехнического дела Советской республики», положивший начало отечественной радиоэлектронной промышленности. 2 декабря 1918 г. был издан второй декрет «Положение о Радиолaborатории с мастерской Народного Комиссариата почт и телеграфов», направленный на создание научной базы советской радиотехники. В.И. Ленин поручил организовать радиолaborаторию, собрав в ней радиоспециалистов, которые работали на радиостанции в Твери (группа М.А. Бонч-Бруевича), на Царскосельской радиостанции (группа А.Ф. Шорина) и на заводе «Дюфлон, Константинович и К^о» (группа В.П. Вологодина). Так появилась НРЛ, справедливо называемая «колыбелью» отечественной радиотехники [373; 377]. К основным факторам, повлиявшим на выбор места для будущей лаборатории (г. Горький, в настоящее время Н. Новгород), можно отнести:

- сравнительно небольшая удаленность от столицы;
- существование высокоразвитой металлообрабатывающей промышленности (заводы Сормово, Фельзер);
- налаженное железнодорожное сообщение и проволочный телеграф для связи с Москвой и Петроградом.

Вкратце расскажем об истории создания НРЛ и ее научной деятельности [422; 374]. Начнем с научной деятельности ее научного руководителя, члена-корреспондента АН СССР Михаила Александровича Бонч-Бруевича (1888–1940). В 1914 г. он поступил

на работу помощником В.М. Лещинского — начальника Тверской приемной радиостанции, где уже велись работы по изготовлению отечественных радиоламп. В 1916 г. исследователям удалось собрать первую электронную лампу (рис. 7п), получившую название «Бабушка».

После Октябрьской революции разработками М.А. Бонч-Бруевича заинтересовался В.И. Ленин, который поручил ему организовать первую советскую радиолaborаторию. Решение о создании такого учреждения в условиях разрухи и блокады было поистине революционным. В августе 1918 г. на берегу Волги в трехэтажном здании бывшего общежития началось оборудование будущей радиолaborатории.



М.А. Бонч-Бруевич

На первом этаже расположились производственные мастерские, на втором — лаборатория и стеклодувные мастерские, третий этаж заняли управленческие службы. Первая в России серийная лампа, разработанная в 1918 г. в НРЛ под руководством М.А. Бонч-Бруевича (на базе лампы «Бабушка»), называлась ПР-1 («пустотное реле, разработка № 1»). Уже в начальный период работы радиолaborатории параллельно с разработкой приемно-усилительных электронных ламп проводились исследования по созданию надежных методов радиотелефонирования.

В 1920 г. М.А. Бонч-Бруевич изготовил генераторную лампу с массивным алюминиевым анодом, позволявшим рассеивать большую тепловую мощность. Первый удачный опыт радиотелефонной передачи был осуществлен им из НРЛ на расстояние 4 км. 15 января 1920 г. была осуществлена радиотелефонная передача из НРЛ в Москву на расстояние 370 км. Правительство придавало огромное значение развитию радиотелефонии, с помощью которой можно осуществлять политическую и культурно-просветительную связь столицы с отдаленными районами страны. По этой причине в 1920 г. было подписано постановление: «поручить Нижегородской радиолaborатории изготовить в срочном порядке центральную радиотелефонную станцию с радиусом действия 2000 верст¹» [Цит. по: 114].

Изготовление мощной генераторной лампы для такой станции в то время казалось практически неразрешимой задачей. Алюминиевый массивный анод для этого был не пригоден, требовался тугоплавкий анод из тантала или молибдена. Но таких металлов в

¹ 1 верста равна 1066,8 м.

то время в России не было. Несмотря на это, в условиях невиданных трудностей, испытываемых страной, М.А. Бонч-Бруевичу удалось найти оригинальное техническое решение. Он предложил изготовить анод из меди и охлаждать его водой. При этом вместо танталового анода использовалась никелированная трубка из красной меди, вводившаяся внутрь лампы и припаянная к платиновому колпачку, который спаивался со стеклом баллона. Колпачок и анод соединялись со шлангом и охлаждались циркулирующей проточной водой. Анод, охлаждаемый водой, позволял рассеивать мощность до 950 Вт, что вполне соответствовало требованиям радиотелефонной передачи. Для увеличения поверхности анода М.А. Бонч-Бруевич сделал его четырехкамерным, поместив в каждую камеру катод и сетку. Ничего подобного мировая вакуумная техника ранее не знала.

С первой половины 1920-х гг. стремительное развитие в нашей стране получила новая область радиотехники — радиовещание. Первые опыты применения радиотелефонии проводились еще в 1919–1920 гг., когда М.А. Бонч-Бруевич сконструировал первый маломощный радиотелефонный передатчик, установленный для опытов на Ходынской радиостанции. Одновременно А.Т. Углов (создатель первой системы радиовооружения войск связи РККА), работавший в Казани, собрал экспериментальный телефонный передатчик. Он был установлен на одном из волжских пароходов. Передвигаясь от Казани вниз по Волге, пароход поддерживал радиотелефонную связь со своей базой.

В 1922 г. в Москве начала работать Центральная радиотелефонная станция им. Коминтерна, названная позднее РВ-1. Радиотелефонный передатчик этой станции обладал мощностью 12 кВт, отдаваемую 12 генераторными лампами. Еще 12 таких же ламп использовались в модуляторе этого передатчика. РВ-1 работала на длине волны 3200 м. При этом предусматривался и телеграфный режим работы, при котором мощность радиопередатчика увеличивалась до 20 кВт. РВ-1 стала самой мощной передающей станцией своего времени. В 1922 г. Центральная радиотелефонная станция передала в эфир первый радиоконцерт, принятый во многих городах.

Организованное в НРЛ производство мощных радиоламп позволило М.А. Бонч-Бруевичу в 1923 г. построить 25-киловаттную лампу, в то время самую мощную в мире. К 1924 г. НРЛ превратился в крупный научно-исследовательский институт в области радиотехники, который получил широкое признание за рубежом. К этому времени М.А.

Бонч-Бруевич создал макет мощной генераторной лампы мощностью 100 кВт.

С 1924 г. стали выпускаться радиостанции «Малый Коминтерн» мощностью 1,2 кВт с питанием от трехфазной сети переменного тока, предназначенные для областных центров. Они работали в диапазоне длин волн от 700 до 1400 м. За два года НРЛ построила 27 таких станций. В 1924 г. была введена в эксплуатацию Сокольническая радиостанция, мощность которой с 640 Вт возросла сначала до 1,2 кВт, а к 1926 г. — до 20 кВт. В 1927 г. сотрудниками НРЛ под руководством М.А. Бонч-Бруевича была закончена работа над радиостанцией «Новый Коминтерн» мощностью 40 кВт, ставшей самой мощной на тот период в Европе.

Приведем фрагмент из книги «Нижегородские пионеры советской радиотехники», иллюстрирующий характер научной деятельности М.А. Бонч-Бруевича в НРЛ. «Часто в глубокую полночь, чтобы освежить голову и еще раз продумать, что было сделано за день, Михаил Александрович выходил на волжский “Откос”. Иногда к нему присоединялся кто-нибудь из сотрудников, и беседа в ночной тишине на свежем воздухе обычно навевала новые идеи, в голову приходили новые оригинальные пути к решению очередных задач... Михаил Александрович, подобно своему учителю В.К. Лебединскому, умел с полуслова схватывать мысль собеседника и находить с ним общий язык. Вокруг него складывалась школа молодых специалистов, быстро подхватывавших его указания и стремившихся освоить, реализовать и углубить его начинания» [Цит. по: 536].

Помимо М.А. Бонч-Бруевича в НРЛ работали В.М. Лещинский, В.К. Лебединский, В.П. Вологдин, Д.А. Рожанский, А.Ф. Шорин, В.В. Татаринov — выдающиеся специалисты отечественной радиотехники. Они занимались вопросами генерации и использования коротких волн, высокочастотных незатухающих колебаний для передачи голоса, разрабатывали приборы для экспериментов, конструировали мощные радиолампы, преподавали в Нижегородском университете, организовывали радиофизические съезды, участвовали на радиотехнических выставках, издавали технические журналы. Так, под редакцией В.К. Лебединский выходил журнал «ТиТбп» — для специалистов-инженеров.

В НРЛ были проведены пионерские исследования в области полупроводниковой техники и оптоэлектроники. Молодой ученый О.В. Лосев обнаружил и экспериментально изучил явления, связанные с прохождением электрического тока

через поверхность неметаллических кристаллов [460]. В 1922 г. он создал кристадин — прообраз современных транзисторных приемников и радиоэлектронных полупроводниковых приборов для усиления и генерации электромагнитных колебаний. В 1927 г. О.В. Лосев открыл явление свечения кристаллов карборунда при прохождении тока через точечный контакт (свечение Лосева или, в современных терминах, рекомбинационное излучение p — n -переходов), лежащее в основе действия современных светодиодов. Он правильно интерпретировал новое явление, экспериментально доказав существование некоторого «активного слоя» в детектирующем контакте. Отметим, что физика твердого тела (в том числе зонная теория) в то время еще не была разработана. К сожалению, жизнь О.В. Лосева трагически оборвалась в 1942 г. во время блокады Ленинграда.

В 1929 г. НРЛ была переведена в Ленинград и объединена с Петроградским электровакуумным заводом. В результате этого слияния появилась ЦРЛ. В дальнейшем на базе НРЛ возникла ЦВИРЛ — в настоящее время «Нижегородское научно-производственное объединение имени М.В. Фрунзе».

В Ленинграде М.А. Бонч-Бруевич продолжил свою научную деятельность. Он был избран профессором кафедры радиотехники ЛЭИС, занимался вопросами установления радиосвязи на Дальнем Севере, проводил исследования ионосферы. А.Л. Минц писал о М.А. Бонч-Бруевиче. «Он был, бесспорно, выдающимся исследователем и в высшей степени одаренным изобретателем, нетерпеливым, всегда ищущим новые пути. Его физическая интуиция, пожалуй, не имела равной среди известных мне крупнейших радиоспециалистов... Он был человеком больших перспектив и необычайных дерзаний, смело ломал стоявшие перед ним преграды и указывал пути развития нашей техники» [351. С. 159].

Таким образом, НРЛ стала первым в России научно-исследовательским центром, в котором были заложены основы радиосвязи, радиотехники, электроники, радиовещания, отечественной радиоэлектронной промышленности. НРЛ получила высокую оценку и признание, как в нашей стране, так и за рубежом. Свою научную деятельность в стенах НРЛ начинали будущие выдающиеся ученые-радиофизики: академик РАН В.А. Котельников, член-корреспонденты АН СССР А.А. Пистолькорс, Д.А. Рожанский, профессора А.М. Кугушев, Н.Н. Пальмов, В.И. Листов и др.

§ 3.1.5. Другие радиотехнические центры СССР

На территории СССР помимо НРЛ сформировались и другие объединения радиотехников и радиоинженеров. В 1919 г. М.В. Шулейкин основал при МВТУ кафедру радиотехники. В 1920 г. А.А. Чернышев организовал радиолaborаторию в Ленинграде при Политехническом институте. Весомый вклад в развитие радиотехнической промышленности внес А.Т. Углов, один из учредителей РОРИ. Он был начальником 2-ой Казанской базы радиотелеграфных формирований, в состав которой входили лаборатория с учебно-опытной радиостанцией, радиотехническая школа, выпускавшая радиотелеграфистов, мастерские для ремонта и сборки радиостанций. Несмотря на то, что производство радиопередатчиков в дальнейшем пошло по пути создания генераторных ламп, работы Казанской базы имели большое значение, так как ее сотрудниками были выполнены пионерские исследования в области радиотелефонии.

А.Т. Углов в одной из статей писал: «... опыты по радиотелефонии, проводимые мною во 2-й радиобазе, являются продолжением опытов по телефонированию при помощи усилительных ламп, производившихся в 1916–1917 годах в офицерской электротехнической школе в Петрограде и в 1919 году в Военной радиотехнической лаборатории в Москве. Также проводилось испытание искровых радиостанций конструкции Углова, работавших на ходу поезда. Дальность действия этих радиостанций достигала до 400 км» [252. С. 30]. Для Красной Армии сотрудники 2-й Казанской базы изготовили около 10 радиопеленгаторных станций. Они позволяли определить местоположение радиостанций противника на расстоянии около 600 км.

В процессе становления отечественной радиотехники и производства радиоаппаратуры важную роль сыграла одесская группа радиоспециалистов, руководимая Л.И. Мандельштамом и Н.Д. Папалекси [344]. В нее входили Б.Ф. Цомакион, Р.В. Львович, И.Е. Тамм, К.Б. Романюк, К.В. Стахорский, Е.Я. Щеголев, К.Э. Виллер, Я.М. Кравец, Г.К. Серапин, А.Я. Брейтбарт, Е.Д. Айсберг и др. Переехав в 1918 г. в Одессу, Л.И. Мандельштам начал активную деятельность по организации Одесского политехнического института. Будучи заведующим кафедрой физики нового института он привлек для преподавания Н.Д. Папалекси, М.А. Аганина, Б.Ф. Цомакиона, И.Е. Тамма и др. Совместно с ними, а также с помощью К.Б. Романюка и группы студентов

Л.И. Мандельштам создал в институте физическую лабораторию, собрав из разных мест нужные приборы и поставив чтение лекций по физике и практические занятия на высокий научный уровень.

Н.Д. Папалекси в Одесском политехническом институте был доцентом на кафедре физики и заведующим физическим практикумом, а с 1920 г. — профессором по теоретической электротехнике. Он читал также лекции по радиоизмерениям и теории колебаний. Здесь же Н.Д. Папалекси опубликовал первую часть своего исследования по теории лампового генератора. Наряду с большой педагогической и научной работой он организовал в Политехническом институте вакуумную лабораторию и наладил в ней технологический процесс производства радиоламп.

В 1919 г. в Одессе был организован радиотелеграфный завод. Основной его задачей был ремонт радиостанций, но наряду с этим в лаборатории завода проводились и исследовательские работы, в частности по использованию ламповых и дуговых передатчиков для радиотелефонии. Впоследствии многие радиоспециалисты, работавшие в Одесском политехническом институте и на Одесском радиотелеграфном заводе, перешли в ЦРЛ.

С 1 августа 1922 г. началась история Петроградского электровакуумного завода ГЭТЗСТ (основанного на базы бывшего завода РОБТиТ) — первого отечественного предприятия в совершенно новой отрасли — радиоэлектронике. Техническим директором завода был назначен М.М. Богословский, а главным инженером — С.А. Векшинский. В 1924 г. на этом заводе был налажен массовый выпуск приемно-усилительных радиоламп, генераторных ламп мощностью 10, 50 и 5000 Вт, ртутных выпрямителей и другой радиоэлектронной продукции.

В 1928 г. завод «Светлана» и Петроградский электровакуумный завод были объединены под общим названием «Электровакуумный завод «Светлана»». Разработка новых изделий была поручена заводской исследовательской лаборатории, возглавляемой С.А. Векшинским [117]. Наиболее значительным достижением лаборатории на рубеже 1920–1930-х гг. стала разработка бариевого катода. В 1934 г. в целях расширения возможностей лаборатории она была преобразована в отраслевую вакуумную лабораторию, которая под руководством С.А. Векшинского, стала основным научно-техническим и производственным центром советской радиоэлектроники. В группе С.А. Векшинского работала целая плеяда выдающихся инженеров и ученых,

ставших затем руководителями различных организаций отечественной радиоэлектронной промышленности: А.А. Шапошников, С.А. Зусмановский, В.С. Лукошков, А.А. Иванов, Г.С. Вильдгрубе, С.А. Оболенский, С.Г. Рыжанов, Ф.Н. Хараджа, Г.А. Гринберг, К.Б. Романюк, А.Г. Александров и др.

В период 1933–1941 гг. на предприятии «Светлана» было разработано и освоено в серийном производстве около 500 видов электровакуумных приборов. После войны «Светлана» становится крупнейшей в СССР многопрофильной организацией по разработке и выпуску радиоэлектронной продукции. В настоящее время ОАО «Светлана» — российский холдинг, занимающийся разработкой и выпуском мощных электровакуумных приборов и микроэлектронных устройств. Около половины производимой предприятием продукции имеет оборонную направленность.

§ 3.1.6. Центральная радиолaborатория (ЦРЛ)

После объединения трестом ГЭТЗСТ разрозненных предприятий электро- и радиотехнической промышленности России возникла необходимость открыть в его составе мощную научно-исследовательскую лабораторию. 11 ноября 1923 г. правление ГЭТЗСТ приняло решение организовать радиоотдел (под научным руководством А.Ф. Шорина) с лабораторией, которая затем получила название ЦРЛ. Главной ее задачей была консолидация ведущих радиоспециалистов, а также привлечение новых ученых и инженеров из разных предприятий и разных городов страны [118].

Для лаборатории была отведена часть помещений бывшего завода РОБТиТ, где к тому времени уже был развернут Петроградский электровакуумный завод. Кроме того, из Москвы в Петроград была возвращена заводская лаборатория РОБТиТ (руководитель В.М. Лебедев). Из числа ее прежних сотрудников для работы в ЦРЛ были приглашены: Э.Я. Борусевич, В.М. Лебедев, Р.В. Львович, Н.Д. Папалекси, а также ряд выдающихся радиоспециалистов — В.П. Вологдин, Л.И. Мандельштам, Д.А. Рожанский, И.Г. Фрейман, Н.Н. Циклинский, А.Ф. Шорин и др. В 1928 г. в ЦРЛ влился коллектив специалистов из НРЛ. Вместе с ее директором М.А. Бонч-Бруевичем в ЦРЛ перешли работать А.М. Кугушев, И.А. Леонтьев, О.В. Лосев, Д.Е. Маляров, Б.А. и Г.А. Остроумовы, А.А. Пистолькорс, В.В. Татаринов, С.И. Шапошников и др.

В.П. Вологдин, создатель первых в мире высоковольтных ртутных выпрямителей, в ЦРЛ создал специальную лабораторию. Со своими сотрудниками (М.А. Спицыным,

В.И. Рудзиком, А.А. Фогелем, В.М. Тедером, В.Ф. Горюновым и др.) он разрабатывал элементы машинных генераторов, высоковольтные ртутные выпрямители, а позже высокочастотные индукционные печи для плавки, пайки и поверхностной закалки изделий с помощью токов высокой частоты.

ЦРЛ стала многопрофильным учреждением, в котором проводились научно-технические исследования в области радиотехники (в том числе нелинейной), электровакуумной техники, технологии промышленного применения токов высокой частоты, гидро- и электроакустики, телевидения, радионавигации и др. В частности, сотрудники ЦРЛ конструировали и выпускали небольшие партии переносных телефонно-телеграфных радиостанций, специальных радиоприемников и радиопередатчиков. Так, в ЦРЛ были построены радиостанция мощностью 5 кВт для Тебриза (Иран), радиостанции для Ташкента, Харькова и Свердловска.

Достаточно полную характеристику деятельности ЦРЛ (на 1 августа 1925 г.) привел в отчетном докладе ее директор В.А. Павлов. «...Лаборатория выполняет работы следующего характера:

- разрабатывает новые схемы и типы приборов;
- руководит испытаниями радиоаппаратуры на заводах;
- производит исследование различных иностранных изделий;
- консультирует заводы Треста, участвует в монтажно-строительных работах на местах, когда установка радиоаппаратуры связана с экспериментом.

Достижения лаборатории характеризуются следующими работами:

- профессор Рожанский Д.А. ведет исследования в области коротких волн, он достиг крупных успехов в передаче телеграфии и телефонии волнами порядка нескольких десятков метров;
- профессор Мандельштам Л.И. и профессор Папалекси Н.Д. разработали новую схему модуляции на сетку, которая нашла практическое применение в производстве Треста;
- профессор Вологдин В.П. ведет работы по применению для радиотелеграфии альтернаторов высокой частоты. Под руководством профессора Вологодина В.П. инженер Горюнов разработал ряд ртутных выпрямителей;
- отдел передатчиков под руководством инженеров Тейковцева, Львовича, Щеглова, Зилитинкевича, Смирнова разработал типы концертных передатчиков для

целей широкого вещания, телеграфно-телефонные станции для НКПС, выючные радиостанции...» [363. С. 51].

Укажем на еще одну важную работу, выполненную в ЦРЛ. В 1931 г. саратовский радиофизик В.И. Калинин был приглашен в Ленинград для организации в ЦРЛ одной из первых в СССР лабораторий по исследованию СВЧ-колебаний. В течение 1931–1933 гг. группой под руководством В.И. Калинина была создана приемо-передающая аппаратура дециметровых волн. В передатчиках широко использовались разработанные им лампы с апериодической сеткой, допускающие перестройку частоты в достаточно широких пределах. Лампы с апериодической сеткой, как отмечал В.И. Калинин в автобиографии, «были использованы академиком Б.А. Введенским и профессором А.Г. Аренбергом в их исследованиях по распространению ультракоротких волн», а также в проводившихся ЦРЛ в 1934 г. под руководством Ю.К. Коровина первых в СССР опытах по радиолокационному обнаружению самолетов.

В целях ускорения радиофикации страны в 1930 г. ЦРЛ и Радиозавод им. Коминтерна были объединены в единую организацию — ЦРЛЗ. В 1930 г. БМР и специалисты ЦРЛЗ по радиопередатчикам образовали ОРПУ, а в 1931 г. ЦРЛ и завод им. Коминтерна стали вновь самостоятельными.

В дальнейшем в результате множества преобразований сформировался НИИ «Вектор», ставший старейшим радиотехническим предприятием России. Свою историю он ведет с 1908 г. — момента образования РОБТиТ. За более чем 100-летний период функционирования НИИ «Вектор» прошел следующие организационные этапы:

- 1908–1919 гг. (РОБТиТ);
- 1923–1939 гг. (ЦРЛ, ОРПУ КМР им. Коминтерна, НИИ-33);
- 1939–1955 гг. (Завод № 327 — № 619);
- 1955–1972 гг. (НИИ-619 — НИИ «Интеграл»);
- 1972–1991 гг. (ЛНПО «Вектор»);
- 1992–2011 гг. (НИИ «Вектор» — ФГУП «НИИ «Вектор»).

В настоящее время НИИ «Вектор» входит в концерн радиостроения «Вега». Основным его направлением являются радиолокационные средства авиационного (А-50), наземного («Перископ-В») и космического («Алмаз-1») базирования, системы разведки и управления, в том числе на основе беспилотных летательных аппаратов.

Итак, ЦРЛ стала ведущей научно-исследовательской организацией страны в

области радиотехники в довоенный период. Она сыграла основополагающую роль в развитии отечественной радиотехники и становлении радиопромышленности. Опираясь на ее разработки, ГЭТЗСТ смог развернуть на своих заводах выпуск различной серийной радиоаппаратуры и перейти к массовому выпуску радиоламп. Впоследствии на базе ЦРЛ был образован Институт радиовещательного приема и акустики им. А.С. Попова. Отметим, что в ЦРЛ начинали свою научную деятельность ставшие впоследствии известными специалисты и ученые: Н.А. Гуревич, В.С. Дехтярев, Ю.К. Коровин, М.С. Нейман, А.А. Расплетин, А.П. Сиверс, В.И. Сифоров, С.Я. Соколов, А.А. Харкевич, А.Н. Щукин и др. В дальнейшем мы еще будем возвращаться к деятельности ЦРЛ при обсуждении научных школ в радиофизике.

Что касается ГЭТЗСТ, то он просуществовал до 31 декабря 1929 г., а с 1 января 1930 г. начало действовать ВЭО, в ведение которого вошли все существовавшие электротехнические тресты. Трест сыграл исключительную роль в восстановлении и развитии отечественных радиотехнических предприятий в 1920-е гг. Достаточно мощная научно-исследовательская и производственная база, сформированная благодаря его деятельности, позволила завершить период становления отечественной радиопромышленности.

§ 3.2. И.Г. Фрейман и научная школа в области инженерной радиотехники

«...Он стоял у самых истоков русской промышленной радиотехники» [514. С. 7]

Н.Н. Циклинский

Источники литературы. Среди библиографических источников, посвященных научной деятельности И.Г. Фреймана, следует отметить:

- статью Л.И. Золотинкиной «Профессор Имант Георгиевич Фрейман — основатель отечественной научно-инженерной школы радиотехники» [221] (ее аннотация была приведена в главе 2);
- книгу Л.И. Золотинкиной и Е.Н. Шошкова «Имант Георгиевич Фрейман (1890–1929)» (в настоящее время она стала библиографической редкостью) [220];
- статью А.В. Лезина, Э.А. Сергеева, В.В. Яценко «Из истории создания отечественных флотских научно-исследовательских учреждений радиосвязи (1923–1932)» [311];

- статью В.Г. Карпова «Профессор И. Г. Фрейман — выдающийся советский радиотехник» [251];

- изданный в 2015 г. сборник «Имант Георгиевич Фрейман. Избранные труды» под ред. В.Н. Ушакова [232]. В нем приведены избранные статьи и фрагменты из книг ученого, охватывающие практически все направления развития и становления отечественной радиотехники в 1920-е гг. В издание также включены: описание научных трудов И.Г. Фреймана; перечень материалов о нем; хронология основных дат жизни и деятельности ученого; биографический очерк И.Г. Фреймана, составленный директором Мемориального музея А.С. Попова Л.И. Золотинкиной.

Направление радиофизики. Краткий обзор развития радиотехники до конца 1920-х гг. (этап IV в периодизации истории радиофизики) был приведен в главе 1. В это время происходило формирование и развитие искровой радиотехники, радиотехники незатухающих колебаний и вакуумной электроники [225]. Кроме того, начались исследования условий распространения коротких радиоволн. К важнейшим задачам относились: проектирование и внедрение радиотехнических устройств в практику, снабжение вооруженных сил средствами радиосвязи отечественного производства, создание учреждений, которые осуществляли бы систематическую подготовку будущих радиоинженеров.

Научная биография руководителя научной школы. В ряду выдающихся ученых-радиотехников имя профессора Иманта Георгиевича Фреймана (1890–1929) занимает особое место. Он родился 19 апреля (1 мая) 1890 г. в имении Ислице Добленского уезда Курляндской губернии. И.Г. Фрейман учился в ЭТИ императора Александра III, который на начальном этапе формирования радиотехники являлся признанным центром электротехнической мысли.



И.Г. Фрейман

Директором ЭТИ был П.Д. Войнаровский — профессор электротехники, организатор русского электротехнического образования. В научном и практическом плане, кроме основополагающих работ по канализации электрической энергии, его важнейшим достижением было создание первой в России высоковольтной лаборатории (1904 г.). С 1901 по 1906 гг. профессором физики, а в 1905 г. и директором ЭТИ, был А.С. Попов. В 1902–1903 гг. он, кроме лекций по физике, читал также курс лекций по

беспроволочной телеграфии, а в 1904–1905 гг. — прочел курс лекций по термодинамике для студентов третьего курса. С 1903 г. курс теории цепей беспроводного телеграфирования читал заведующий кафедрой телеграфии профессор П.С. Осадчий. Именно в его учебнике «Основы теории телеграфных цепей и применение ее к проектированию электрических линий» (1903 г.) впервые был включен раздел «Некоторые данные из теории цепей беспроводного телеграфа».

При кафедре электрических телеграфов в 1909 г. была организована одна из первых в России учебных лабораторий по беспроводному телеграфированию. Ее руководителем был назначен выпускник ЭТИ, ученик А.С. Попова Н.А. Скрицкий [222]. После А.С. Попова теоретическую часть курса радиотехники, посвященную электромагнитным колебаниям и волнам, читал А.А. Петровский. В 1912 г., будучи преподавателем ВМА, он стал первым профессором по беспроводной телеграфии (радиотехнике) в России. В 1907 г. А.А. Петровским было опубликовано первое теоретическое руководство по радиотехнике на русском языке — «Научные основания беспроводной телеграфии».

В ЭТИ учителями И.Г. Фреймана были крупнейшие российские ученые: И.И. Боргман (теоретическая электротехника), А.А. Петровский (электромагнитные колебания и волны), Д.А. Рожанский (практические занятия по физике), В.В. Скобельцын (физика), П.С. Осадчий (электрические телеграфы), Н.А. Скрицкий (курс беспроводного телеграфа и лабораторные занятия) и др. Отметим, что И.И. Боргман был главой Петербургской школы физиков, среди его учеников были А.С. Попов, В.К. Лебединский, В.Ф. Миткевич, М.А. Шателен, Б.Л. Розинг, А.А. Петровский и др.

Важнейшей особенностью научного творчества И.И. Боргмана была нацеленность на практическую реализацию научных достижений. В 1893 г. вышел в свет его двухтомный курс «Основания учения об электрических и магнитных явлениях», содержащий глубокий теоретический анализ электромагнитных явлений (в рамках теории электромагнитного поля Дж.К. Максвелла) и их строгое математическое обоснование. Несомненно, подобный подход к исследованию оказал значительное влияние на формирование исследовательской культуры и научного кругозора студентов ЭТИ, в том числе, И.Г. Фреймана.

Еще во время обучения в институте (в период с 1907 по 1913 гг.) И.Г. Фрейман участвовал в строительстве мощных радиостанций Почтово-телеграфного ведомства в

Риге и на о. Руно в Рижском заливе, а также в Архангельском почтово-телеграфном округе — радиостанций в Исакогорке (близ г. Архангельск), на о. Вайгач и на Югорском Шаре². Участие в этой деятельности позволило ему получить ценный практический опыт, так как, фактически, И.Г. Фрейман освоил все этапы проектирования и сооружения радиостанций. В дальнейшем эти знания он передавал своим ученикам — специалистам в области практической (инженерной) радиотехники. Дипломный проект И.Г. Фреймана был посвящен разработке радиотелеграфной линии «Москва — Баку» и экспериментальному исследованию вращающегося разрядника Маркони.

В становлении И.Г. Фреймана как ученого важнейшую роль сыграло его участие в деятельности РОРИ (см. выше). На заседаниях этого общества он выступал с докладами более 20 раз. Многие из них были опубликованы в виде статей в журнале «ТиТбп» (редактор — В.К. Лебединский). Кроме того, И.Г. Фрейман был членом терминологической комиссии по радиотехнике РОРИ. Общепринятый сегодня в отечественной технической литературе термин «радиовещание» был предложен И.Г. Фрейманом.

Расширению научно-технического кругозора и знакомству со многими видными специалистами Морского и Военного ведомств способствовала работа И.Г. Фреймана в МРК (период деятельности 1912–1918 гг.). В ведение МРК входило рассмотрение различных проектов радиотелеграфных и радиотелефонных установок с целью их согласования и составления общего проекта сети радиостанций в России, организация исследований в области распространения радиоволн, разработка терминологии.

И.Г. Фрейман успешно справлялся с поставленными задачами МРК. Он активно участвовал в научных дискуссиях, разработке терминологии в области токов высокой частоты и ее применении к радиотелеграфии и радиотелефонии, составлении радиотехнической документации и др. Работа в МРК стала серьезной научной и организационной школой для формирования И.Г. Фреймана как талантливого радиотехника-инженера.

В фокусе внимания МРК находились и вопросы радиотехнического образования. Это обусловлено тем, что при проектировании и строительстве радиостанций обнаружилась нехватка квалифицированных специалистов. Ясно, что нужно было

² Пролив между берегами острова Вайгач и материка Евразии, соединяющий южные части Баренцева и Карского морей.

разработать программу подготовки будущих инженеров, которые были бы способны решать различные практические задачи радиотехники. С этой целью И.Г. Фрейман был оформлен внештатным лаборантом лаборатории беспроводной телеграфии ЭТИ.

Следующий важный этап в жизни И.Г. Фреймана связан его работой в МО ГУК Морского министерства. При этом он принимал участие в исследованиях, проводившихся в радиотелеграфной лаборатории Морского ведомства. В 1915 г. МО ГУК предложил Н.А. Скрицкому и И.Г. Фрейману провести работу по проектированию и строительству силами Радиотелеграфного завода мощной искровой радиостанции (300 кВт) в г. Владивостоке. К началу 1916 г. проектирование Владивостокской радиостанции было закончено. Радиостанция с дальностью действия 300 км была спроектирована как искровая станция с разрядниками Вина. Будучи сотрудником МО ГУК, И.Г. Фрейман интенсивно занимался научной работой. В его публикациях нашли отражение основные этапы развития средств беспроводной телеграфии: от искры и дуги к электронной лампе.

К середине 1920-х гг. существовал значительный пробел в области изучения антенн (радиосетей). В статье [488] И.Г. Фрейман отмечал, что большая часть работ, выполненных за 30 лет, была посвящена вопросам генерирования колебаний высокой частоты. Задачи же излучения энергии, задачи изучения радиосети оставались в тени. Неудивительно, что большая часть научных работ И.Г. Фреймана была посвящена изучению радиоволн, теории антенн и смежным вопросам. «По сути дела, И.Г. Фрейман, наряду с М.В. Шулейкиным, явился одним из пионеров в деле изучения антенн [Цит. по: 221. С. 83].

Из работ И.Г. Фреймана, посвященных явлениям переноса и излучения электромагнитной энергии, необходимо, прежде всего, указать на статью [485]. Изящные расчеты, произведенные И.Г. Фрейманом, показали, что «все способы передачи электрической энергии на далекие расстояния как проводные, так и беспроводные — это различные интегральные проявления одного и того же дифференциального первичного процесса — перемещения энергии, получившей форму электромагнитного поля...» [Цит. по: 232. С. 167]. Антенная техника того времени требовала решения многих принципиальных задач, разработки методов технического расчета и методики измерений. Этим вопросам И.Г. Фрейман уделял значительное внимание в своих статьях [487; 489; 490]. В статье [487] он предложил метод расчета

собственной длины волны антенны, основанный на определении избыточной емкости, вызванной влиянием земли.

Для работ И.Г. Фреймана в области антенной техники характерно то, что, рассматривая какую-либо задачу, он приводит не только теоретический анализ, но и методику инженерного расчета, а также анализирует способы экспериментального определения соответствующих параметров. При этом теоретические изыскания подтверждались экспериментальными исследованиями, проводившимися на кораблях в реальных условиях работы радиостанций. Кроме того, И.Г. Фрейман провел весьма ценные экспериментальные работы, положившие начало технике измерений напряженности поля. К работам в области антенной техники тесно примыкают его исследования явлений распространения электромагнитных волн, нашедшие отражение в статьях [491; 486].

В 1921 г. в Ученом совете ЭТИ им. В.И. Ульянова (Ленина) И.Г. Фрейман защитил магистерскую диссертацию «О законах подобия радиосетей». После этого он был утвержден в должности профессора института и назначен заведующим кафедрой радиотехники. К этому времени И.Г. Фрейман, несмотря на свою молодость, был одним из наиболее авторитетных специалистов в области радиотехники.

В сентябре 1921 г. И.Г. Фрейман сделал доклад на первом Всероссийском съезде Русского общества любителей мироведения³, в котором предложил развивать радиолюбительство в государственном масштабе. По инициативе А.А. Петровского и И.Г. Фреймана в ноябре 1922 г. в Петрограде был организован первый радиолюбительский кружок, а в 1923 г. была открыта радиосекция в ЭТИ. Кроме того, И.Г. Фрейманом был написан ряд статей в помощь радиолюбителям, а также под его редакцией выпускались справочники для радиолюбителей.

С 1922 по 1929 гг. И.Г. Фрейман был научным консультантом Треста заводов слабого тока по отдельным разработкам. Совместно с А.А. Петровским и А.А. Чернышевым он участвовал в работах по восстановлению Детскосельской радиостанции (1921–1923 гг.), в 1924 г. — консультировал специалистов, занимавшихся разработкой проектов радиостанций для Ирана. В 1926 г. И.Г. Фрейман был назначен на должность

³ Русское общество любителей мироведения — общество любителей естественных и физико-математических знаний и мироведения (астрономии и геофизики) было организовано в 1909 г.

помощника директора ГЭТЗСТ по радио, но в связи с реорганизацией управленческого аппарата Треста с 1 декабря 1926 г. его перевели на должность научного консультанта ЦРЛ. Два раза в неделю И.Г. Фрейман бывал в ЦРЛ, следил за выполнением технических заданий, разработанных под его руководством.

По воспоминаниям сотрудников ЦРЛ, И.Г. Фрейман, всегда любезный и приветливый, обладал удивительной способностью ясно и доходчиво объяснять самые сложные теоретические и практические вопросы. В этой связи уместно привести фрагмент из воспоминаний Н.Н. Циклинского. «Необходимо подчеркнуть еще одно свойство И.Г. Фреймана, которое являлось характерным в его работе, — это счастливое сочетание в нем теоретика, владеющего могущественным оружием математического анализа, и инженера-практика, все время работавшего над задачами промышленной радиотехники» [Цит. по: 232. С. 36–37].

Приказом по флоту от 03 апреля 1924 года И.Г. Фрейман был назначен председателем секции связи и навигации НТК МС. В ведении секции связи и навигации находились вопросы корабельной радиосвязи на флоте, береговой службы наблюдения и связи, гидроакустики и аэроакустики, визуальной связи и наблюдения, сигнализации лучами ИК-диапазона и др. Характерно, что уже в то время И.Г. Фрейман ставил задачу переоснащения флота и разработки систем автоматического распознавания и обработки информации, опережая свое время на десятки лет.

В 1927 г. на пленуме НТК МС был заслушан доклад И.Г. Фреймана на тему «Проблемы связи военного флота». В результате было принято постановление НТК МС создать систему радиовооружения флота («Блокада-1»). В ее разработке (1927–1930 гг.) участвовали ЦРЛ, завод им. Коминтерна, специалисты ВМА и научно-исследовательских институтов промышленности. Тактико-технические задания на разработку аппаратуры составлялись лично И.Г. Фрейманом.

Среди инженеров, работавших над выполнением заказа «Блокада-1», было много учеников И.Г. Фреймана по ЛЭТИ. Начальник ВМА Б.Б. Жерве отмечал: «Морские силы РККА привыкли видеть на своих кораблях во время практических плаваний и маневров Иманта Георгиевича, внимательно исследующего на практическом опыте вопросы радиосвязи, и эти его исследования не ограничивались теоретическими рамками. Последние достижения в технике и организации связи на Морских силах долгое время еще будут свидетельствовать о знаниях, энергии и трудах профессора И.Г.

Фреймана» [Там же. С. 35].

В системе «Блокада-1»⁴ нашли отражение и инженерную реализацию научные идеи И.Г. Фреймана. Она работала в основном на длинных волнах, но для дублирования длинноволновой связи и для специальных условий имелись и коротковолновые радиостанции. Для обеспечения внутриэскадренной связи на небольших расстояниях применялись ультракороткие волны. Система вооружения «Блокада-1» включала в себя 7 типов длинноволновых и 2 типа коротковолновых радиостанций, 1 тип ультракоротковолновой радиостанции. Для приема радиоволн использовались радиоприемники «Ветер», «Дозор», «Куб-4» (рис. 8п) и др.

И.Г. Фрейман ясно понимал перспективность использования электронных ламп для генерирования мощных высокочастотных колебаний. Он проводил исследования по расчету, построению генераторов на основе новых электронных приборов и одним из первых предложил проект мощной центральной радиовещательной станции [484], создание которой произошло уже после его смерти.

Кроме того, И.Г. Фрейман принимал активное участие в изучении ионосферы и в формировании нового научного направления — радиометеорологии. По предложению профессора П.А. Молчанова И.Г. Фрейманом была разработана радиоаппаратура для первого в мире радиозонда (1928 г.), предназначенного для изучения верхних слоев атмосферы. И.Г. Фрейман умер 8 февраля 1929 г. в Ленинграде.

Становление научной школы. Формирование научной школы И.Г. Фреймана тесно связано с периодом технического переворота в истории развития радиотехники: переходом от техники затухающих колебаний с ее чисто эмпирическими основами проектирования к применению незатухающих электромагнитных колебаний. В начале XX в. радиотехника развивалась быстрыми темпами. Однако многочисленные статьи, опубликованные, как правило, в зарубежных журналах, в основном были посвящены решению конкретных вопросов — изобретению и конструированию новых приемных или передающих устройств, электронных приборов, других элементов радиосистем. Фактически, не было научных работ, объединяющих все необходимые сведения в

⁴ С 1934 г. была начата разработка нового комплекса корабельной радиоаппаратуры «Блокада-2». Новые радиопередатчики мощностью от 100 Вт до 10 кВт имели широкий диапазон частот, более высокую стабильность частоты. Радиоприемники новой системы обладали лучшей стабильностью частоты, более современным дизайном и удобным управлением.

единую и непротиворечивую систему, на основе которой можно было бы решать практические задачи радиотехники.

Отчетливо понимая сложившуюся ситуацию, И.Г. Фрейман предложил научно-инженерный подход к решению радиотехнических проблем. Конечно, осуществить его в одиночку было достаточно сложно, поэтому он привлекал к теоретическим исследованиям и практическим работам в области радиотехники своих сотрудников. Тем самым, сложились определенные предпосылки (внутренние факторы) для формирования научной школы И.Г. Фреймана. Что касается внешних факторов, повлиявших на этот процесс, то следует отметить несколько аспектов.

Во-первых, И.Г. Фрейман прошел «школу» И.И. Боргмана, благодаря которой он получил фундаментальную физико-математическую подготовку (в том числе, усвоил основы теории электромагнитного поля Дж.К. Максвелла), приобрел ценные умения раскрывать физический смысл в математических расчетах и воплощать результаты теоретических исследований в практических приложениях. В подтверждение этому можно указать на практическую направленность всех публикаций И.Г. Фреймана. В своих исследованиях он приводил инженерный расчет проектируемых радиотехнических устройств, разрабатывал адекватный математический аппарат, обеспечивающий необходимую и достаточную для практики точность результатов.

Во-вторых, научно-инженерный характер школы И.Г. Фреймана сформировался благодаря его участию под руководством Н.А. Скрицкого в проектировании и сооружении радиостанций.

В-третьих, следует отметить деятельность И.Г. Фреймана в различных организациях (МРК, МО ГУК, Радиотелеграфный завод, ЦРЛ, ЛЭТИ и др.) и обществах (например, РОРИ). Она позволила ему познакомиться и обмениваться идеями практически со всеми крупными специалистами в области электро- и радиотехники того времени, с новыми радиотехническими разработками.

Исследовательская программа научной школы. Тематика исследований И.Г. Фреймана была весьма многогранной. Его научные работы посвящены теории распространения радиоволн, теории антенн и машин высокой частоты, электронно-вакуумной технике, вопросам терминологии, теории и методике расчета лампового генератора. Вместе с тем к магистральному направлению научной деятельности И.Г. Фреймана и его учеников следует отнести **научно-инженерный подход к**

проектированию и конструированию различных радиотехнических систем. Данная исследовательская программа претерпевала изменения в связи с переходом от беспроводной телеграфии и радиотехники незатухающих колебаний к ламповой радиотехнике. Эту эволюцию можно проследить по описанию результатов научной деятельности и публикациям И.Г. Фреймана.

Стиль руководства в научной школе. В 1916 г. решением ученого совета ЭТИ впервые в России была введена специальность «Радиотелеграфные станции» и начата подготовка инженеров по радиотехнике [236]. В начале 1920-х гг. специальность «радиотехника» уже включала в себя более 10 курсов, которые читались студентам. И в 1925 г. было принято решение о разделении этой кафедры на две самостоятельных: кафедру «Общей радиотехники» (руководитель — профессор Н.А. Скрицкий) и кафедру «Специальный курс радиотехники», которую возглавил его ученик — профессор И.Г. Фрейман. Для чтения курса по радиотехнике И.Г. Фрейман разработал новую программу-минимум, представленную в Совет ЭТИ. В 1921 г. совместно с профессором М.М. Глаголевым им было подготовлено предложение об открытии научно-учебной лаборатории по электронной технике и специализации по рентгенотехнике. Решением Ученого совета от 23 июня 1921 г. новая специализация была открыта на электрофизическом факультете.

В.Н. Лепешинская, вспоминая о своем учителе, подчеркивала, что И.Г. Фрейман читал лекции красиво, с определенной долей артистизма. Об одной из первых лекций она рассказывала следующим образом. «Худощавый, светловолосый, очень подвижный, Имант Георгиевич вошел в аудиторию, красивым жестом скинул пальто, хотя в аудитории было весьма прохладно. Вынув из кармана электронную лампу и продемонстрировав ее всем присутствующим, он начал лекцию о перспективах применения электронной лампы, говорил увлеченно, с азартом. По ходу лекции делал рисунки на доске, кстати, чертил он великолепно, никогда не пользовался линейкой или циркулем: и без инструментов линии были четкими и прямыми, а окружности — идеальными» [Цит. по: 232. С. 36–37].

В.Г. Карпов писал: «Нам, его ученикам, слушать его лекции было нелегко, они были трудны в лучшем смысле слова, ибо были насыщены глубоким содержанием и многими оригинальными мыслями. Нередко были случаи, когда уже после сдачи экзамена мы приходили вновь слушать Иманта Георгиевича и неизменно получали

истинное наслаждение и приобретали новые знания» [251. С. 6].

В 1920–1928 гг. И.Г. Фрейман вел общий и специальный курсы радиотехники, а также смежные дисциплины (электровакуумные приборы, радиоизмерения). В те годы чтение этих курсов означало, в сущности, создание новых научных дисциплин. Материалы лекций послужили основанием для создания учебников по этим предметам. Во второй половине 1920-х гг. специальность «Радиотехника» уже включала в себя более 10 курсов, которые читали ведущие специалисты в области радиотехники, например В.П. Вологдин, М.М. Глаголев, Е.Я. Щеголев, А.Ф. Шорин.

Одной из важнейших сторон педагогической деятельности И.Г. Фреймана было руководство дипломным проектированием. Перечень тем дипломных проектов свидетельствует о переходе в радиотехнике «от искры и дуги» к электронной лампе:

- радиостанции с искровым передатчиком (два проекта);
- дуговые передатчики (два проекта);
- ламповые передатчики для телеграфной работы (пять проектов);
- машины высокой частоты (один проект);
- радиовещательные станции (десять проектов);
- трансляционные радиостанции (три проекта);
- коротковолновые передатчики (два проекта);
- радиоизмерения (два проекта);
- самолетные радиостанции (один проект) и проекты на другие темы.

Отличительной особенностью всех дипломных проектов была их актуальность и практическая направленность. Так, В.И. Сифоров вспоминал, что, предлагая ему в 1928 г. тему для дипломного проекта, И.Г. Фрейман сказал: «Есть одна интереснейшая область. И тема очень перспективная и важная — борьба с помехами радиоприему» [Цит. по: 232. С. 47]. Эта тема определила всю дальнейшую научную карьеру В.И. Сифорова. Как вспоминал С.Я. Соколов, «И.Г. Фрейман очень хорошо владел физико-математическим аппаратом, следил за новейшими достижениями в физике. Он никогда не замыкался узкими задачами радиотехники... и поражал окружающих необычайной гибкостью своего ума, своим широким кругозором» [219. С. 65].

В период с 1917 по 1928 гг. под руководством И.Г. Фреймана защитили дипломы более 30 радиоинженеров, многие из которых стали докторами и кандидатами наук, руководителями и главными инженерами предприятий. Учителем всех учителей от

радиотехники назвал И.Г. Фреймана историк науки и техники, профессор Б.А. Остроумов. Развитию радиотехнической специальности в ЭТИ во многом способствовала работа И.Г. Фреймана в должности декана электрофизического факультета, а затем и заместителя директора института по учебной работе.

В 1922 г. И.Г. Фрейман стал организатором кафедры радиосвязи в ВМА и до 1929 г. был ее начальником. Параллельно в эти годы он читал курс радиотехники на электротехническом факультете в Военно-инженерной академии. Летом 1923 г. И.Г. Фрейман организовал практику для своих учеников в Севастополе, в ходе которой слушатели ВМА А.И. Берг, Н.П. Суворов и А.Н. Гриненко-Иванов наладили подводную связь на подводных лодках Черноморского флота. Радиосвязь велась на изолированные рамочные сети, находившиеся под водой, когда лодка шла в полупогруженном состоянии, на малых глубинах.

В 1924 г. был опубликован фундаментальный труд И.Г. Фреймана — «Курс радиотехники», заложивший основы инженерного подхода к решению радиотехнических задач. В течение многих лет «Курс радиотехники» был настольной книгой для отечественных радиоспециалистов. В предисловии к первому изданию И.Г. Фрейман писал: «Настоящий курс написан в 1919–1920 гг., когда вся наша страна была отрезана от всего остального мира и когда в научно-технических вопросах, как и во многих других, мы были вынуждены и, даже независимо от этого, стремились найти свои самостоятельные решения» [482. С. 1].

Второе издание книги вышло в 1928 г. [483]. Академик АН СССР А.А. Чернышев отмечал: «С выходом из печати “Курса” проф. Фреймана восполняется существенный пробел в русской технической литературе. Труд этот представляет оригинально построенный специальный курс радиотехники, изучение которого позволяет не только основательно ознакомиться с современным состоянием этой важной отрасли электротехники, но также подготовиться к самостоятельному решению технических задач по проектированию и исследованию радиотехнических сооружений» [Цит. по: 411]. Член-корреспондент АН СССР Д.А. Рожанский в рецензии на курс радиотехники И.Г. Фреймана писал: «Богатство материала, охватывающего все области современной радиотехники, свежесть сведений, которые обнаруживают перед нами упорную работу самого автора в наиболее важных вопросах этой молодой науки, исключительная эрудиция, которая совмещает знакомство с задачами, как теоретическими, так и

узкопрактическими, по необходимости для радиоинженера, все это вместе делает курс И.Г. исключительным явлением нашей технической литературы» [Цит. по: 221. С. 89].

В 1935 г. были созданы новые кафедры ЛЭТИ: «Теоретические основы радиотехники», «Радиоизмерения», «Радиопередающие устройства», «Радиоприемные устройства». А.И. Берг стал заведующим кафедрой «Радиопередающие устройства», а кафедру «Радиоприемные устройства» возглавил В.И. Сифоров. Дальнейшее развитие кафедры радиопередающих устройств связано с деятельностью крупных специалистов в области радиотехники: С.И. Панфилова, А.И. Животовского, С.А. Дробова, А.М. Кугушева, О.В. Алексеева и др.

Представители научной школы. К одной из важнейших заслуг И.Г. Фреймана, лидера ленинградских радиотехников в 1920-х гг., относится создание им в ЛЭТИ научной школы в области инженерной радиотехники (рис. 9п). По словам А.И. Берга, «как педагог проф. И.Г. Фрейман был связан, прежде всего, с Электротехническим Институтом, в котором он учился и достиг профессорского звания. Он был педагогом, воодушевлявшим аудиторию и заражавшим ее тем творческим энтузиазмом и интересом к радиотехнике, который был так характерен для него самого. В ЛЭТИ он создал лабораторию, названную его именем, создал свою школу и воспитал много десятков инженеров» [53. Л. 1].

Имена выдающиеся отечественных ученых — учеников И.Г. Фреймана, широко известны. Приведем их список и кратко охарактеризуем полученные ими результаты.

- А.И. Берг — академик АН СССР, доктор технических наук, профессор, внесший вклад в развитие методов расчета мощных усилительных трактов, организатор науки, инициатор и руководитель отечественных исследований по кибернетике и ее приложениям.

- А.А. Харкевич — академик АН СССР, доктор технических наук, профессор, специалист в области электроакустики, радиотехники и теории связи, основатель Института проблем передачи информации.

- А.Н. Щукин — академик АН СССР, доктор технических наук, профессор, выдающийся ученый в области распространения радиоволн в различных средах, радиосвязи, автоматического управления и приложения теории вероятности к этим радиофизическим направлениям.

- С.Я. Соколов — член-корреспондент АН СССР, доктор технических наук,

крупнейший ученый в области акустики, гидроакустики, получивший мировое признание в области методов неразрушающего контроля, основатель ультразвуковой дефектоскопии и акустической голографии. Он известен как разработчик гидрофона, ультразвукового дефектоскопа, кварцевого анализатора звука.

- В.И. Сифоров — член-корреспондент АН СССР, доктор технических наук, профессор, выполнивший основополагающие работы: по вопросам устойчивости резонансных усилителей, детектированию сигналов и преобразования частоты, радиоприема на СВЧ, импульсной радиосвязи и радионавигации; методам обнаружения радиолокационных сигналов и борьбы с радиопомехами; теории передачи информации.

- Б.П. Асеев — доктор технических наук, профессор, конструктор военной техники радиосвязи (участвовал в разработке радиопередатчиков 2А-19 и «Север»), генерал-майор инженерно-технической службы, лауреат Сталинской премии первой степени.

- Н.С. Бесчастнов — кандидат технических наук, доцент, генерал-майор инженерно-технической службы, автор учебника по радиопередающим устройствам.

- М.П. Долуханов — преподаватель ЛЭИС, автор более 100 научных работ, в том числе книги «Распространение радиоволн», ставшей учебником для многих радиоинженеров и научных сотрудников.

- Н.М. Изюмов — доктор технических наук, генерал-лейтенант инженерно-технической службы, заслуженный деятель науки и техники РСФСР, создатель миноискателя, автор множества книг и учебников по радиотехнике («Курс радиотехники», «Основы радиотехники»).

- М.И. Конторович — заслуженный деятель науки и техники РСФСР, доктор технических наук, профессор, выполнивший важнейшие работы в области теоретической и прикладной электродинамики, теории антенн, теории нелинейных колебаний, автор широко известных монографий «Операционное исчисление и процессы в электрических цепях», «Нелинейные колебания в радиотехнике».

- Е.Г. Момот — доктор технических наук, профессор, автор книги «Радиотехнические измерения», создатель оригинального метода градуировки волномеров, генератора сигналов с применением компенсационного метода для измерения малых токов звуковой, автор основополагающих работ в области избирательного детектирования, фазовой селекции, однополосного детектирования.

- С.И. Панфилов — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой радиопередающих устройств ЛЭТИ, декан радиотехнического факультета ЛЭТИ, выполнивший исследования по анализу нелинейных процессов в мощных усилителях низкой частоты, автор множества свидетельств на изобретения.

- А.Ф. Шорин — доктор технических наук, профессор, изобретатель в области техники связи, звуковой кинематографии и телемеханики.

- Е.Я. Щеголев — один из первых разработчиков судовой радионавигационной техники, участвовавший в разработке радионавигационной системы для точного определения местонахождения судна в море, первого отечественного визуального радиопеленгатора и др.

Результаты научной школы. Научная школа инженерной радиотехники И.Г. Фреймана дала мощный импульс к развитию практически всех основных разделов радиотехники. Многие теоретические положения, разработанные им и его учениками в радиотехнике, стали теперь классическими. И.Г. Фрейманом была проделана колоссальная работа по систематизации новейших для его времени материалов по проектированию и расчету радиоустройств, включающих в себя достижения как отечественной, так и мировой науки, результаты его собственных теоретических и практических исследований, по формированию современной терминологии в радиотехнике и электронике.

Кроме того, им была разработана концепция построения системы радиовооружения ВМФ. Результаты его научно-исследовательской работы были реализованы в первой ламповой системе радиовооружения ВМФ «Блокада-1». Отметим, что в 1948 г. корабельная система радиосвязи «Победа» (развитие систем «Блокада-1» и «Блокада-2») получила Сталинскую премию.

В 1929 г. была установлена первая в ЛЭТИ мемориальная доска около лаборатории специального курса радиотехники, посвященная И.Г. Фрейману, а сама лаборатория была названа его именем. В 2015 г. издательский центр «Марка» Россвязи выпустил почтовую карточку, приуроченную к 125-летию со дня рождения И.Г. Фреймана, и провел спецгашение к этому юбилею.

Таблица 3, заполненная применительно к научной школе И.Г. Фреймана, приведена в Приложении 4 (таблица 1п⁵).

⁵ Таблицы, к номеру которых добавлена буква «п», приведены в Приложении 4.

§ 3.3. М.В. Шулейкин и научная школа в области инженерной радиотехники, теории и практики распространения радиоволн

«Михаил Васильевич явился создателем большой, исключительной по своему значению, научной школы в области распространения радиоволн» [361. С. 116]

А.Н. Казанцев

Источники литературы. К библиографическим трудам, посвященным научной деятельности М.В. Шулейкина и его школы, следует отнести:

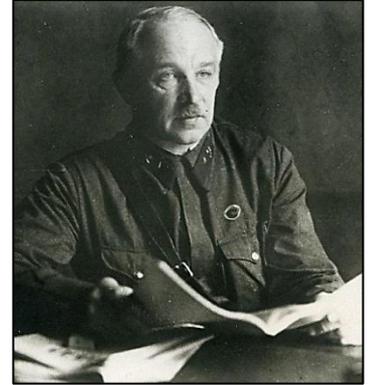
- сборник «Михаил Васильевич Шулейкин» (под ред. Б.А. Введенского) [361], представляющий собой стенограммы и тексты докладов сотрудников и учеников М.В. Шулейкина;
- информационные ресурсы Архива Российской академии наук (РАН), электронной библиотеки «Научное наследие России», сайта <http://radiolamp.net/> (рубрика «История электроники и радио»), содержащие научно-биографические сведения о М.В. Шулейкине;
- фонд 607 РАН, в котором собраны автобиографии М.В. Шулейкина, рукописи его работ и статей, приведены расчеты, заключения, рефераты, описания изобретений, курсы лекций, отзывы, рабочие материалы, письма и фотографии.

Направление радиофизики. Об истории развития радиотехники до конца 1920-х гг. (этап IV в периодизации истории радиофизики) было рассказано в главе 1. В этот период происходило формирование и развитие искровой радиотехники, радиотехники незатухающих колебаний (создание дуговых и электромашинных генераторов), устройств вакуумной электроники (от простейших пустотных реле до ламповых генераторов), средств радиовещания. Наряду с использованием длинных радиоволн, начались исследования условий распространения коротких радиоволн, в частности, в ионосфере. Указанные обстоятельства привели к тому, что диапазон длин радиоволн, применяемых в практических целях, существенно расширился. В связи с этим, 1920-е гг. ознаменовались не только переходом к ламповой радиотехнике, но и освоением коротких радиоволн в совокупности с интенсивным изучением ионосферы. При этом остро стоял вопрос об оснащении вооруженных сил радиоаппаратурой собственного производства.

Научная биография руководителя научной школы. Михаил Васильевич Шулейкин

(1884–1939) — академик АН СССР, выполнивший вместе со своими учениками фундаментальные работы по теории и созданию методов расчета и проектирования радиостанций и антенных устройств, теории и практике распространения радиоволн (в том числе, в ионосфере). Он родился 21 октября (2 ноября) 1884 г. в Москве.

В 1902 г. М.В. Шулейкин окончил московскую частную гимназию и поступил на электромеханическое отделение Санкт-Петербургского политехнического института, где обучался по специальности «инженер-электрик». В создании этого отделения принимал участие М.О. Доливо-Добровольский, а в числе профессоров института были В.Ф. Миткевич, М.А. Шателен, В.Л. Кирпичев, Ф.Ю. Левинсон-Лессинг и др.



М.В. Шулейкин

После окончания Санкт-Петербургского политехнического института в 1908 г. М.В. Шулейкин был оставлен при институте в должности младшего лаборанта электромашинной лаборатории для специализации по радиотехнике. В 1912 г. М.В. Шулейкин сдал адъюнктские экзамены по электротехнике и физике. Спустя год он был командирован в Германию, где посетил ряд заводов в Берлине, в Геттингене и Дармштадте, изучая организацию радиотелеграфного дела.

Как и А.С. Попов, М.В. Шулейкин начал свою научную деятельность с работ по электротехнике (во многом под влиянием М.А. Шателена и В.Ф. Миткевича — выдающихся ученых-электротехников). Первые работы М.В. Шулейкина (период: 1908–1913 гг.) были посвящены мало исследованным вопросам электротехники. В качестве примера можно привести его дипломную работу [525] и статью [527]. Во второй из указанных работ М.В. Шулейкиным были рассмотрены различные колебательные режимы в цепи, состоящей из генератора постоянного тока и индуктивностей. Для всех рассмотренных случаев были установлены условия возникновения и затухания колебаний, которые были проверены на практике.

Работая над вопросами электротехники, М.В. Шулейкин постепенно переключился на решение различных теоретических и практических вопросов радиотехники. Такой поворот в его научном творчестве можно объяснить тем, что мастерские для «выделки аппаратов искрового телеграфа» были переведены из Кронштадта в Петербург. Напомним, что на их базе было сформировано

Радиотелеграфное депо Морского ведомства.

В 1913–1918 гг. М.В. Шулейкин, как уже отмечалось в § 3.1.1 данной главы, работал на Радиотелеграфном заводе Морского ведомства. При этом он возглавлял (1913–1918 гг.) первую в России заводскую лабораторию по изготовлению радиотехнических измерительных приборов. Под руководством М.В. Шулейкина небольшая группа радиоспециалистов работала над оснащением кораблей отечественного флота и береговых радиостанций средствами радиосвязи: конструировала радиопередатчики и радиотелеграфные приборы, разрабатывала измерительную аппаратуру, проводила эксперименты по радиотелефонии [363; 54].

В этот период в практике радиосвязи только начинали использоваться машины высокой частоты. Занимаясь изучением этих новых генераторов быстропеременных токов, М.В. Шулейкин создал специальный тип трансформатора для повышения частоты колебаний и, тем самым, значительно расширил возможности высокочастотной машины. В изобретенном им трансформаторе вторичная обмотка настраивалась на частоту, в три раза более высокую, чем частота тока, подводимого к первичной обмотке.

В результате трансформатор утраивал частоту колебаний — длина излучаемых передатчиком радиоволн становилась в три раза короче. М.В. Шулейкин применил этот способ повышения частоты колебаний не только для радиотелеграфной связи, на его основе он создал радиотелефонный передатчик своей системы и провел опыты по радиотелефонии.

Свои выдающиеся способности ученого-радиотехника М.В. Шулейкин проявил и в начале Первой мировой войны. В первые дни войны оказалось, что ни русские, ни союзные радиостанции не могут перехватывать радиogramмы с немецких кораблей и устанавливать местонахождение вражеского флота. Первым разгадал секрет М.В. Шулейкин. Выяснилось, что немецкий флот отказался от искровых генераторов, их радиостанции были переведены на работу с незатухающими колебаниями. М.В. Шулейкин догадался об этом и решил проблему, дополнив схему радиоприемника тиккером — прерывателем тока.

Рассматривая вопрос о преимуществах незатухающих колебаний, М.В. Шулейкин в статье [526] исследовал электрическую цепь, состоявшую из машинного генератора высокой частоты и микрофонов, включенных непосредственно в антенну. Для этой цепи он составил дифференциальное уравнение, при решении которого установил, что,

помимо несущей частоты, в антенне появляются дополнительные, боковые частоты. Этот вывод на много лет опередил появление подобной работы за рубежом.

Работая на Радиотелеграфном заводе, М.В. Шулейкин поддерживал связь с Политехническим институтом. В 1914 г. М.В. Шулейкин защитил диссертацию на тему «Самовозбуждение электрических колебаний в цепях коллекторных машин» и получил звание адъюнкта электротехники. В этой работе были выяснены условия возникновения электрических колебаний в цепях, не содержащих емкостей.

В 1918 г. после закрытия Радиотелеграфного завода М.В. Шулейкин перешел на работу в радиоотдел ГУК, а затем в радиоотдел Главного военного управления. Вслед за этим он был назначен постоянным членом инженерного комитета и начальником Военной радиотехнической лаборатории. В том же году ведущие радиоспециалисты (в их числе был и М.В. Шулейкин) собрались в Петрограде в Центральной лаборатории Военного ведомства для организации РОРИ (см. § 3.1.3 этой главы). В 1919–1929 гг. М.В. Шулейкин являлся председателем Московского общества РОРИ. Как отмечал его ученик А.Л. Минц, «Исключительные черты Михаила Васильевича как ученого и руководителя научной мысли в области радио того времени особенно ярко сказывались при исполнении им обязанностей председателя РОРИ... До некоторой степени было не случайным, что заседания Российского общества радиоинженеров много лет происходили в квартире Михаила Васильевича. Это не случайно именно потому, что личная жизнь Михаила Васильевича была теснейшим образом переплетено с его научной и общественной деятельностью» [74. Л. 24].

На заседаниях этого общества М.В. Шулейкин сделал более 30 докладов, при этом значительное внимание он уделял вопросам терминологии в радиотехнике. Далее приведем фрагмент из воспоминаний А.Л. Минца, характеризующий деятельность М.В. Шулейкина в РОРИ. «Руководство деятельностью Общества в первую очередь заключалось в подборе тем докладов. Но не это было самым замечательным. Самое замечательное было руководство Михаила Васильевича прениями и самым главным — его заключительное слово. Оно имело настолько важное значение, что часто мы все слушающие уходили с заседания Общества заряженными новыми мыслями и подолгу решали те творческие вопросы, которые ставились в ходе заседания... Вы должны понять, что в то время, когда началась деятельность этого Общества, не было оформленной специальности радиотехники в высших учебных заведениях» [Там же. Л.

25, 26]. После реорганизации РОРИ М.В. Шулейкин участвовал в деятельности ОДР.

М.В. Шулейкин стал одним из основателей инженерной радиотехники, автором широко распространенных методов расчета и проектирования антенн и ряда важнейших радиотехнических устройств. При этом трудно указать такую область радиотехники, в которую он бы не внес научный вклад. На научных трудах М.В. Шулейкина основаны расчеты радиостанций и антенных устройств, электронных ламп и генераторов, модуляции и кварцевой стабилизации радиопередатчиков, теория и техника радиоизмерений, теория распространения и излучения радиоволн. Он глубоко проанализировал работу регенеративного приемника, создал метод расчета усилителей, а также решил ряд важнейших вопросов, связанных с преобразованием частот.

Первая работа М.В. Шулейкина в области теории антенных устройств [531] была опубликована в 1918 г. в журнале «ТиТбп». В ней был приведен вывод формулы для емкости любой системы горизонтальных (или вертикальных) параллельных проводников равного диаметра, получены расчетные формулы для частных случаев, которые используют радиоспециалисты, занимающиеся проектированием антенн.

В 1920–1921 гг. под руководством М.В. Шулейкина в Сокольниках вступила в строй мощная радиостанция, на которой источником незатухающих колебаний был дуговой генератор. Эта станция предназначалась в основном для обслуживания радиолюбителей Москвы и Московской области. Впоследствии здесь же была построена ламповая радиотелефонная станция (А.Л. Минцем, И.Г. Кляцкиным, Н.И. Огановым и др.), которая с 1925 г. стала называться радиостанцией им. А.С. Попова.

Продолжая исследовать антенны, М.В. Шулейкин опубликовал работу [530], которая подводила итог его практических работ в этой области за период с 1915 по 1918 гг. В ней были приведены формулы для расчета действующей высоты, сопротивления излучения и сопротивления потерь применительно к антеннам различной конфигурации. Результаты стали классическими, и вошли в учебники и учебные пособия А.А. Петровского, И.Г. Кляцкина, М.С. Неймана, А.А. Пистолькорса и др.

Отметим ряд других работ М.В. Шулейкина в области антенной техники: [528] (получена формула для действующей высоты рамочной антенны), разработка вместе с И.Г. Кляцкиным теории П-образной антенны, статья [532] (написана совместно с А.Л. Минцем) и др. Впоследствии результаты, полученные М.В. Шулейкиным, были использованы при проектировании антенны 500 кВт радиостанции (исследования А.Л.

Минца, З.И. Моделя, М.И. Конторовича и С.В. Персона).

С 1921 г. М.В. Шулейкин вошел в состав Правления ГЭЭИ, вместе с К.А. Кругом, К.И. Шенфером и В.С. Кулебакиным. В 1923 г. руководимая М.В. Шулейкиным радиолaborатория вошла в состав ВЭИ (бывший ГЭЭИ). С 1923 по 1928 гг. он работал заведующим радиоотделом в ВЭИ, где занимался весьма широким кругом радиотехнических вопросов. Так, например, он изобрел регенеративный приемник со схемой, позволяющей работать с различными диапазонами волн, прибор для измерения коэффициента мощности в цепях низкой и высокой частоты, занимался вопросами применения токов высокой частоты и др. Особо отметим, что в ГЭЭИ была создана группа ультракоротких волн во главе с Б.А. Введенским. О ее деятельности будет рассказано в § 3.6 этой главы.

Весомый научный вклад М.В. Шулейкин внес в исследование законов распространения радиоволн. В 1920 г. он пришел к выводу, что на распространение радиоволн значительное влияние оказывают ионизированные слои верхней части атмосферы, и указал на огромное значение этих слоев для дальней радиосвязи на коротких волнах. Он впервые установил, что ионосфера имеет слоистое строение, и на несколько лет раньше иностранных специалистов разработал основы современной теории преломления радиоволн в ионосфере. Опыты, проведенные значительно позже теоретических работ М.В. Шулейкина, блестяще их подтвердили.

Итак, М.В. Шулейкин разработал основы теории распространения радиоволн, учитывающей влияние ионосферы. При этом он создал новый курс радиотехники и опубликовал в 1923 г. его первую часть в виде книги «Распространение электромагнитной энергии» [529]. Фактически, она является первым отечественным исследованием, посвященным вопросам распространения радиоволн. В этой книге М.В. Шулейкиным были рассмотрены свойства антенн, влияние почвы, вопросы ионизации атмосферы, электрические свойства ионизированного воздуха, преломляющее действие ионизированных слоев на силу приема в различные часы суток и года. При этом все выводы сопровождалось таблицами и графиками, содержащими теоретические и экспериментальные данные.

В 1923 г. М.В. Шулейкин рассмотрел задачу о распространении радиоволн над плоской Землей (без учета влияния ионосферы) и привел формулу и графики для практических расчетов, опередив на восемь лет аналогичные исследования Б. Ван-дер-

Поля. М.В. Шулейкин показал, что силу тока в приемной антенне можно определить по формуле:

$$I_2 = 377 \frac{I_1 h_1 h_2}{\lambda R_2 d} \cdot \frac{1}{\gamma},$$

где I_2 — сила тока в приемной антенне, I_1 — сила тока в передающей антенне, λ — длина волны, h_1 — действующая высота передающей антенны, h_2 — действующая высота приемной антенны, R_2 — сопротивление приемной антенны, d — расстояние между корреспондентами, γ — коэффициент, характеризующий затухание на трассе.

Коэффициент затухания может быть выражен в виде функции некоторой величины α , квадрат которой

$$\alpha^2 = \left(\frac{0,229 \cdot 10^{-4}}{\lambda} \right)^2 \frac{d}{\sigma},$$

где σ — проводимость почвы.

Формула М.В. Шулейкина позволяет рассчитать силу тока в приемной антенне при распространении радиоволн над плоской землей, пренебрегая влиянием ионосферы, но учитывая электрические параметры почвы. По своему характеру она совпадает с формулой Б. Ван-дер-Поля (1931 г.):

$$E_z = \frac{120\pi I_0 h}{\lambda r} |y(\rho)|,$$

где I_0 — амплитудное значение силы тока, h — действующая высота передающей антенны, λ — длина волны, r — расстояние между корреспондентами. Множитель ослабления $|y(\rho)|$ в формуле Б. Ван-дер-Поля соответствует множителю $\frac{1}{\gamma}$ в выражении

М.В. Шулейкина.

В 1925–1926 гг. М.В. Шулейкин расширил разработанную им теорию распространения радиоволн, учитывая влияние магнитного поля Земли на этот процесс. Кроме того, он за 7 лет до появления аналогичных зарубежных работ, создал метод расчета напряженности поля на коротких волнах.

Последние годы научной деятельности М.В. Шулейкина были тесно связаны с работами по радиотехнике в АН СССР. В 1935–1936 гг. в группе технической физики ОТН он организовал бригаду электросвязи из своих учеников (А.Н. Казанцева, Л.А. Жекулина, Н.Н. Шумской, К.М. Рябова, К.М. Косикова, А.Г. Аренберга, Г.М. Бартенева), работавших в области распространения радиоволн. В 1936 г. бригада

успешно решила ряд научно-технических вопросов, связанных с распространением радиоволн на одной из важнейших радиомагистралей СССР — «Москва — Хабаровск». Бригада детально изучила ионизацию высших слоев атмосферы и построила карты ионизации для всех времен года и различных периодов деятельности Солнца. В результате были найдены способы улучшения радиосвязи между Москвой и Хабаровском. Кроме того, были разработаны меры борьбы с не прохождением радиоволн в течение магнитных бурь.

Результаты работы Бригады были опубликованы в статье М.В. Шулейкина [524]. Он особо отметил важность изучения ионосферы, так как оно «является ключом ко всем расчетам, связанным с распространением электромагнитной энергии, в особенности в коротковолновом диапазоне...» [361. С. 46]. В 1938 г. по решению ОТН АН СССР бригада была реорганизована в Комиссию по радиосвязи АН СССР, которая продолжала успешно функционировать под руководством М.В. Шулейкина. 17 июля 1939 г. М.В. Шулейкин ушел из жизни.

Становление научной школы. Формирование научной школы М.В. Шулейкина, как и научной школы И.Г. Фреймана напрямую связано с переходом от техники затухающих колебаний к применению незатухающих электромагнитных колебаний в радиотехнических устройствах. Как и И.Г. Фрейман, М.В. Шулейкин был инициатором разработки научно-инженерного подхода к решению радиотехнических проблем, который бы гармонично сочетал теоретические расчеты, экспериментальные данные и практические выводы (руководства для радиоинженеров). Для этого он активно привлекал к исследованиям своих сотрудников — будущих ученых-радиотехников и специалистов в области проектирования и конструирования различных радиотехнических объектов.

Тем самым, сложились определенные предпосылки (внутренние факторы) для формирования научной школы М.В. Шулейкина. Что касается внешних факторов, повлиявших на этот процесс, то следует отметить несколько особенностей.

Во-первых, как уже говорилось, М.В. Шулейкин прошел электротехническую «школу» М.А. Шателена и В.Ф. Миткевича. Во многом под их влиянием он выполнил ряд важнейших работ в области электротехники. Так, М.В. Шулейкин исследовал колебательные процессы, происходящие в различных электромашинах. При этом он в равной степени уделял внимание как теоретической, так и прикладной стороне.

Полученные умения М.В. Шулейкин затем успешно применял и при изучении радиотехнических вопросов.

Во-вторых, научно-инженерный характер школы М.В. Шулейкина сформировался благодаря его работе на Радиотелеграфном заводе Морского ведомства. Перед этим учреждением была поставлена амбициозная задача — оснастить корабли отечественного ВМФ отечественной радиоаппаратурой. Разумеется, это потребовало проводить и научные, и инженерные исследования средств радиосвязи.

В-третьих, следует отметить деятельность М.В. Шулейкина в различных организациях (РОРИ, радиоотдел в ВЭИ, кафедра радиотехники МВТУ, ОТН АН СССР и др.), где он выступал с докладами на радиотехнические темы, консультировал радиоспециалистов, руководил научно-техническими проектами в области инженерной радиотехники.

Исследовательская программа научной школы. Тематика исследований М.В. Шулейкина была весьма разнообразной. Его научные работы посвящены теории распространения радиоволн, теории антенн и машин высокой частоты, вопросам терминологии в области радиотехники. Эту особенность научного творчества М.В. Шулейкина отметил его ученик И.Г. Кляцкин: «Михаил Васильевич был настолько многообразен, что каждому из его учеников отдельные исследования Михаила Васильевича представлялись как главные, характеризующие направление его работы. Так, одни считали, что основным направлением его работ было распространение радиоволн, другие — антенны, третьи — радиолампы и т. д. Когда я думаю, кем действительно был М.В. Шулейкин, то, мне кажется, правильно будет сказать, что он был первым радиоинженером-ученым» [361. С. 123, 124].

Другой ученик М.В. Шулейкин А.Н. Казанцев писал: «Трудно назвать какой-либо серьезный вопрос в области теории и практики распространения радиоволн, которым бы не занимался Михаил Васильевич... Михаил Васильевич явился создателем большой, исключительной по своему значению, научной школы в области распространения радиоволн» [Там же. С. 116].

Вместе с тем к ведущему направлению научной деятельности М.В. Шулейкина и его учеников следует отнести **научно-инженерный подход к проектированию и конструированию различных радиотехнических систем, исследования в области теории и практики распространения радиоволн**. Данная исследовательская

программа претерпевала изменения в связи с возникающими радиотехническими задачами. Эту эволюцию можно проследить по описанию результатов научной деятельности и публикациям М.В. Шулейкина.

Стиль руководства в научной школе. Рассмотрим педагогическую деятельность М.В. Шулейкина [360]. В период с 1914 по 1918 гг. он работал в Санкт-Петербургском (Петроградском) политехническом институте, где читал курсы «Коллекторные двигатели», «Радиотелеграфные генераторы», а также руководил дипломным проектированием радиотелеграфных станций и машин высокой частоты. Параллельно в 1917 г. М.В. Шулейкин преподавал в Женском Политехническом институте, читая курс «Электромагнитные колебания». После переезда в Москву он начал преподавать на Радиокурсах Общества Высших электротехнических курсов.

Эти курсы, основанные С.М. Кузьминым, существовали с 1918 г. по 1920 г. и предназначались для подготовки радиотехников как для производства (помощники инженеров на заводах), так и для эксплуатации (начальники небольших радиостанций, помощники начальников крупных радиостанций). М.В. Шулейкин читал на отделении радиотехников для производства «Теоретическую радиотехнику» и «Основы расчета радиостанций». На курсах были созданы радиотелеграфная и электротехническая лаборатории, лаборатория двигателей внутреннего сгорания. При чтении курса радиотехники проявились творческие способности М.В. Шулейкина, которые заключались в стремлении связать теорию с практикой. По каждому основному разделу приводился инженерный расчет, основанный на практике.

В 1919 г. М.В. Шулейкин был избран профессором по кафедре радиотехники в МВТУ. Далее приведем фрагмент из его автобиографии. В этом учебном заведении он «.. основал радиоспециальность⁶ и читал ряд курсов: электромагнитные колебания, курс радиотехники, распространение электромагнитной энергии, теорию радиосетей, произвел ряд выпусков радиоинженеров и дал учеников, занимающих ныне ответственные должности, имеющих научные работы и ведущих преподавание» [73. Л.

⁶ В 1921 г. аналогичная специальность была создана М.В. Шулейкиным в Московском Институте народного хозяйства им. Г.В. Плеханова, где он состоял профессором радиотехники до 1929 г. Помимо МВТУ и Института народного хозяйства им. Г.В. Плеханова, в 1921–1923 гг. М.В. Шулейкин читал лекции в Военной электротехнической академии и в Институте связи им. В.Н. Подбельского.

14]. Из этого списка курсов можно сделать вывод, что М.В. Шулейкин, как и И.Г. Фрейман, был специалистом широкого профиля в области радиотехники. Он отчетливо понимал, какими теоретическими и практическими знаниями в этой научной дисциплине должны овладеть будущие радиоинженеры.

Разбирая в своем курсе какой-либо научный вопрос, М.В. Шулейкин всегда стремился рассмотреть его, как с теоретической, так и с практической (инженерной) стороны. От глубокого анализа физических явлений, используемых в радиотехнике, он переходил к инженерному расчету и конкретному проектированию радиотехнических устройств. Благодаря такой системе обучения, советские радиоинженеры получили более основательную техническую подготовку, чем иностранные радиоспециалисты. В этом контексте уместно привести высказывание И.Г. Кляцкина (рис. 10п): «...во всех своих работах Михаил Васильевич выдвигал практическую научно-инженерную черту, умение предусмотреть что же нужно и что получится. Поэтому и неудивительно, что его курсы были первыми инженерными курсами во всем мире, что все его работы имели характер расчета ради станций, радиосети, т. е. все они имели определенный целеустремленный характер» [74. Л. 2].

В 1925 г. состоялся первый в мире массовый выпуск гражданских радиоинженеров. В 1930 г. кафедра радиотехники МВТУ была расформирована, а ее сотрудники и преподаватели были переведены в МЭИ и в ЛЭИС им. проф. М.А. Бонч-Бруевича. Приведем ряд высказываний и фрагментов из воспоминаний учеников М.В. Шулейкина, характеризующих атмосферу и стиль руководства в его научной школе.

По словам А.Г. Аренберга, «...бывало и так, что Михаил Васильевич говорил, что данным вопросом он специально не занимался и обещал продумать, а затем, спустя некоторое время, посвящал этому вопросу специальную лекцию (если вопрос был задан в аудитории) или делал где-либо научный доклад на эту тему, или же приглашал к себе домой задавшего этот вопрос и давал по нему исчерпывающие разъяснения. Иногда Михаил Васильевич ставил перед своими учениками или кем-либо из сотрудников тот или иной интересовавший его вопрос и передавал этому лицу свои черновые наброски и соображения. Так, в результате бесед с Михаилом Васильевич Шулейкиным, подчас возникали, зарождались работы, выливавшиеся впоследствии в новые исследования, конструкции, изобретения, статьи, дипломные работы, диссертации» [361. С. 57, 58]. Некоторые из таких работ будут указаны при обсуждении деятельности учеников и

сотрудников М.В. Шулейкина.

И.Г. Кляцкин отмечал, что в основе научно-исследовательской работы учеников М.В. Шулейкина «всегда ... лежали уже какие-то накопленные материалы, не доведенные еще до оформленного состояния. Но, понимаете, какой помощью для молодого ученого бы эти работы. Они давали ему возможность выполнить эту первую работу, и затем он мог делать уже самостоятельно другие работы. Вот этот подход к воспитанию научных кадров, который сейчас как-то затерялся, во всяком случае, мало наблюдается и является ценным качеством Михаила Васильевича» [74. Л. 7].

Еще одну особенность руководства в научной школе М.В. Шулейкина подметил А.Л. Минц. «Михаил Васильевич никогда не давал прямого методического указания своим сотрудникам, я сказал бы, что он никогда не взваливал своих мыслей на них, он делал это всегда в такой мягкой форме, а нажима не было, что выводы сами напрашивались. Это чрезвычайно важно в работе с начинающими научными сотрудниками, когда сколь-нибудь неосторожный подход может загасить пламя научного горения и только очень опытный, разумный, четкий руководитель способен выработать из начинающего настоящего научного деятеля» [Там же. Л. 19, 20].

Представители научной школы. Достаточно сложно выделить институциональную основу научной школы М.В. Шулейкина. Он успешно работал в различных учреждениях радиотехнической направленности (РОРИ, ВЭИ, ОТН АН СССР и др.), где вокруг него формировались группы единомышленников. Не менее эффективной была и педагогическая деятельность М.В. Шулейкина (кафедра радиотехники МВТУ). Многие выдающиеся радиоспециалисты нашей страны являются сотрудниками и учениками М.В. Шулейкина. Укажем их имена и названия работ, которые были выполнены под его влиянием и руководством.

- А.Л. Минц — академик АН СССР, выполнивший цикл работ по различным вопросам радиотехники, проектированию и сооружению мощных радиовещательных станций. Он также известен как организатор разработки и развертывания первых отечественных РЛС дальнего обнаружения и как руководитель разработки радиоэлектронных систем для отечественных циклических и линейных ускорителей. Совместно с М.В. Шулейкиным А.Л. Минц опубликовал статью [532]. А.Л. Минц создал научные школы в области техники мощных радиовещательных станций и ускорительной техники (об их деятельности будет рассказано в § 3.4 этой главы).

- Б.А. Введенский — академик АН СССР, основатель (совместно с А.И. Бергом) ИРЭ АН СССР, осуществил фундаментальные исследования по распространению и приему УКВ, руководитель научной школы в этой области. О ее деятельности будет рассказано в § 3.6 данной главы.

- И.Г. Кляцкин — заместитель начальника научно-технического комитета Главного управления связи Советской армии, заслуженный деятель науки и техники РСФСР, доктор технических наук, профессор. В 1921 г. он опубликовал первую научную работу «Расчет воздушного противовеса» (с предисловием М.В. Шулейкина). В статье [256] И.Г. Кляцкин развил метод наведенных ЭДС, ранее предложенный Д.А. Рожанским. И.Г. Кляцкин был одним из инициаторов создания в СССР ретрансляционной радиолинии, он руководил созданием ряда образцов военной радиотехники, участвовал в проектировании и создании синхроциклотрона в Дубне.

- С.Н. Ржевкин — доктор физико-математических наук, профессор, представитель научной школы П.Н. Лебедева, основатель и заведующий кафедрой акустики физического факультета МГУ (1943–1975 гг.). Под руководством М.В. Шулейкина С.Н. Ржевкин провел работу по колебаниям связанных систем [421].

- П.В. Шмаков — доктор технических наук, профессор, организатор и руководитель кафедры телевидения в ЛЭИС (1937–1982 гг.), внес неоценимый вклад в развитие и применение телевидения. Под руководством М.В. Шулейкина он выполнил работу по радиотелефонии с замкнутыми антеннами [521].

- Г.А. Зейтленок — доктор технических наук, профессор, лауреат Сталинской премии за участие в ядерной программе (разработка мощных высокочастотных генераторов для синхрофазотрона на 10 ГэВ в Дубне). Под руководством М.В. Шулейкина он выполнил работу по теории самовозбуждения катодного генератора и его нестационарному состоянию в момент включения [216; 217].

- Л.А. Жекулин — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Теория электрических цепей» (1938–1972 гг.) Московского технического университета связи и информатики. Он одним из первых провел исследования влияния магнитного поля Земли на распространение электромагнитных волн в ионосфере. Под руководством М.В. Шулейкина Л.А. Жекулин выполнил работы по распространению радиоволн в ионизированной среде (например, [212]).

- А.Н. Казанцев — доктор технических наук, профессор, первый заведующий

кафедрой антенно-фидерных устройств, организованной на РТФ МЭИ, декан РТФ МЭИ (1952–1954 гг.). Он провел цикл исследований ионосферных радиолиний коротковолнового диапазона (в результате был создан эффективный метод расчета напряженности поля на коротких волнах, учитывающий основные физические процессы распространения радиоволн в ионосфере). Под руководством М.В. Шулейкина А.Н. Казанцев выполнил работы по распределению электронной плотности в ионосфере и расчету коротковолновых линий связи (например, [241]).

Результаты научной школы. Научная школа М.В. Шулейкина во многом похожа на научную школу И.Г. Фреймана. Они обе стояли у истоков зарождения радиотехники как науки, результатом их деятельности стало развитие различных разделов будущей радиофизики. Многие теоретические положения, разработанные И.Г. Фрейманом, М.В. Шулейкиным и их учениками в радиотехнике, стали классическими. Важнейшей заслугой данных школ стало обоснование и применение научно-инженерного подхода к проектированию и конструированию различных радиотехнических систем. Так, значительный вклад М.В. Шулейкиным и И.Г. Фрейманом был внесен в изучение и применение антенной техники. «По сути дела, И.Г. Фрейман, наряду с М.В. Шулейкиным, явился одним из пионеров в деле изучения антенн. Им было немало сделано в этой области, впоследствии блестяще развитой в работах А.А. Пистолькорса, В.В. Татарина и ряда других выдающихся советских радиоспециалистов» [251. С. 5].

Как и И.Г. Фрейман, М.В. Шулейкин отчетливо понимал актуальность введения радиоспециальности в высшие учебные заведения. Разрабатывая учебные материалы (в то время еще не было систематических курсов по радиотехнике в нашей стране) и читая лекции, он внес основополагающий вклад в процесс подготовки радиоинженеров, формируя у них научно-инженерный подход к решению радиотехнических задач.

Жизнеспособность научной школы М.В. Шулейкина проявилась в том, что под его руководством были выполнены дипломные проекты будущих ученых-радиотехников, работы, ставшие отправными для целых направлений радиофизики. Например, результаты, полученные М.В. Шулейкиным и его учениками, использовал А.Л. Минц при создании мощных радиовещательных станций. М.В. Шулейкин инициировал исследования Б.А. Введенского в области теории и практики распространения УКВ.

М.В. Шулейкин и организованная им бригада электросвязи ОТН АН СССР

выполнили ценную с практической точки зрения работу, посвященную распространению радиоволн на одной из важнейших радиомагистралей СССР «Москва — Хабаровск». Впоследствии эта бригада была преобразована в Комиссию радиосвязи АН СССР. В ее состав вошли ученики М.В. Шулейкина, представители различных научно-исследовательских учреждений АН СССР. Комиссия радиосвязи под руководством М.В. Шулейкина работала над различными проблемами радиотехники: вопросы, связанные со стабилизацией частоты, изучение УКВ метрового диапазона, нелинейных искажений в ионосфере, составление радиопрогнозов и др.

Кроме того, М.В. Шулейкин был научным руководителем ряда разработок в области радиотехники для военных целей. В качестве примера можно привести его участие в создании двухантенной станции дальнего обнаружения «Редут». Совместно с сотрудниками ЛФТИ (НИИ-9) и другими организациями М.В. Шулейкин участвовал в проекте по решению проблем радиообнаружения для войск воздушного наблюдения, оповещения и связи (будущих войск ПВО).

В заключение приведем высказывание А.Г. Аренберга, которое очень точно характеризует научное творчество М.В. Шулейкина. «Он отнюдь не отделял друг от друга вопросы теории и практики и всегда представлял себе радиотехнику как нечто цельное, как единую, бурно развивающуюся и притом необычайно увлекательную науку, владея которой, он с поразительной легкостью и изяществом решал различные задачи, как уже выдвинутые практикой, так и опережающие ее» [361. С. 17].

Таблица 3, заполненная применительно к научной школе М.В. Шулейкина, приведена в Приложении 4 (таблица 2п).

§ 3.4. А.Л. Минц и научные школы в области техники мощных радиовещательных станций и ускорительной техники

Творец больших радиостанций,

Исследователь мира радиаций,

Он не император и не принц,

Он академик — Александр Минц [Цит. по: 9]

А. Ярошевский, израильский поэт

Источники литературы. К библиографическим трудам, посвященным научной деятельности А.Л. Минца и его школ, следует отнести:

- избранные труды А.Л. Минца, в которых представлены его основные научные работы: том I. «Радиотехника и мощное радиостроительство» [349]; том II. «Радиотехника и ускорители заряженных частиц» [350];
- избранные труды А.Л. Минца, в которых приведены его научно-популярные статьи, тексты выступлений на конференциях, воспоминания коллег и друзей об А.Л. Минце [351];
- книгу Д.А. Тимошенко «Мне с детских лет был близок Дон Кихот...» [465], в которой собраны материалы (том числе, не публиковавшиеся ранее архивные сведения) о жизни и творчестве А.Л. Минца (издание приурочено к 120-летию со дня рождения ученого);
- книгу «Творцы российской радиотехники. Жизнь и вклад в мировую науку» [461], в которой представлены очерки о жизни крупных отечественных ученых-радиотехниках (в том числе, А.Л. Минца);
- книгу Е.Л. Фейнберга «Эпоха и личность. Физики. Очерки и воспоминания» [476], в которой содержатся воспоминания о некоторых выдающихся отечественных физиках (в том числе, А.Л. Минце), с которыми автор был в той или иной степени близок на протяжении десятилетий, а также воспоминания о Н. Боре и очерк о В. Гейзенберге;
- сборники трудов «История РТИ — дела и люди» (выпуски 1–5) [237; 4];
- сборник статей «Супер-РЛС стратегического назначения — вершины отечественного и мирового радиостроения. 110 лет радио» (авторы: Боев С.Ф., Слока В.К.) [109];
- статью В.В. Сазонова (ведущего сотрудника Радиотехнического института имени академика А.Л. Минца) «Академик Александр Львович Минц. К 110-летию со дня рождения» [445];
- информационные ресурсы АРАН, электронной библиотеки «Научное наследие России», сайта <http://radiolamp.net/> (рубрика «История электроники и радио»), содержащие научно-биографические сведения об А.Л. Минце;
- фонд 1794 АРАН, в который включены статьи и доклады А.Л. Минца, личные, биографические и служебные документы, отзывы о работах ученых, фотопортреты и групповые фотографии с коллегами и др.

Направление радиофизики. После окончания гражданской войны (1922 г.)

жизненно важной задачей было восстановление экономики страны. В этом процессе значительное внимание уделялось развитию средств радиосвязи и, в первую очередь, строительству радиопередающих станций. Кроме 100-киловаттной Московской дуговой радиостанции на Шаболовке, построенной В.М. Лебедевым, вскоре были спроектированы и запущены два мощных дуговых передатчика на Детскосельской радиостанции недалеко от Ленинграда и на Сокольнической радиостанции в Москве.

Кроме построенных для радиовещательных целей средневолновых передатчиков, на радиостанции в Сокольниках был сооружен первый в Европе коротковолновый радиотелефонный передатчик, привлечший к себе внимание советских и зарубежных радиолюбителей. Передачи, которые велись с его помощью, позволили собрать ценный материал о распространении коротких радиоволн. Но для охвата радиосвязью обширной территории СССР было необходимо проектировать и сооружать более мощные радиопередающие и радиоприемные радиостанции.

Научная биография руководителя научной школы. Александр Львович Минц (1895–1974) — академик АН СССР, выдающийся советский радиоспециалист, автор более 100 научных трудов и изобретений в области радиотелефонии, мощного радиостроения (т. е. строительства мощных радиотехнических объектов), антенн длинных и коротких радиоволн, мощных генераторных ламп, радиоэлектронных систем для ускорителей заряженных частиц, РЛС дальнего обнаружения [465; 461; 476]. Он родился 27 декабря 1894 (8 января 1895 г.) в Ростове-на-Дону.



А.Л. Минц

В 1915 г. А.Л. Минц поступил на физико-математический факультет Донского государственного университета, а на следующий год — сразу на второй курс физико-математического факультета Московского университета и одновременно в Народный университет имени А.Л. Шанявского, где курс физики читал будущий академик АН СССР П.П. Лазарев. По словам А.Л. Минца, «у меня было два учителя. Первый — Петр Петрович Лазарев — академик, создатель советской биологической физики. Я начал работу у него еще, будучи студентом. И должен сказать, что именно он заложил во мне основы научного исследователя. Моим вторым учителем был замечательный радиоинженер, академик Михаил Васильевич Шулейкин⁷. Мы с Михаилом

⁷ В то время М.В. Шулейкин возглавлял ВРТЛ РККА.

Васильевичем были связаны многолетней дружбой и несколькими совместными работами» [351. С. 153, 154].

А.Л. Минц выполнил свою первую работу в лаборатории П.П. Лазарева, посвященную скорости распространения автокаталитической реакции в зависимости от концентрации и температуры компонентов (1920 г.). Эта тема затрагивала один из разделов «ионной теории возбуждения» — основной работы П.П. Лазарева в области биофизики. В 1916 г. А.Л. Минц разработал и запатентовал свое первое изобретение «Устройство для парализования действия неприятельской радиостанции, в котором он впервые применил частотную модуляцию для создания помех немецким радиостанциям, установленным на самолетах и корректировавшим артиллерийскую стрельбу.

В 1920–1928 гг. А.Л. Минц служил в рядах РККА, сначала командиром радиодивизиона Первой конной армии С.М. Буденного (участвовал в боевых действиях на Кавказском, Крымском и Польском фронтах), а с 1921 г. — в Высшей военной школе связи РККА, начальником радиофакультета и заведующим ВРТЛ РККА. Под руководством М.В. Шулейкина А.Л. Минц в ВРТЛ РККА проводил исследования по распространению коротких радиоволн, занимался переводом военной радиосвязи с искровых радиостанций на ламповые, а также принимал участие в проектировании армейской искровой длинноволновой станции в Сокольниках.

В 1921 г. А.Л. Минц вместе с М.В. Шулейкиным оформил заявку на патент «Описание счетного полукруга для расчета радиосетей» [533]. Счетный полукруг использовался при проектировании радиостанций с разными типами антенн, включая замкнутые радиосети (П-образные и рамки). В 1922 г. М.В. Шулейкиным и А.Л. Минцем был предложен графический метод расчета длинноволновых радиосетей (антенн) [532]. В начале 1920-х гг. Красная Армия испытывала острую нехватку средств радиосвязи. Для решения этой проблемы А.Л. Минц разработал первую отечественную ламповую армейскую радиостанцию, названную по инициалам имени, отчества и фамилии ее автора — «АЛМ» (1923 г.). При ее создании использовался изобретенный А.Л. Минцем и П.Н. Куксенко феррорегенеративный приемник. В нем регенеративная связь в усилителе регулировалась перемещением железного сердечника в приемном контуре. Радиостанция «АЛМ» с дальностью связи до 100 км была запущена в серийное производство (было выпущено 220 комплектов) и эксплуатировалась до начала Великой Отечественной войны.

В 1923 г. при участии А.Л. Минца была завершена разработка ламповой радиотелефонной станции им. А.С. Попова мощностью 12 кВт, работавшей на частоте 90 кГц. В этой связи приведем фрагмент из воспоминаний И.Г. Кляцкина. «В мирное время дуговая радиостанция в Сокольниках эксплуатировалась мало, и Александр Львович предложил заменить ее ламповой радиотелефонной станцией. Ликвидация дуговой радиостанции вызвала серьезные возражения, так как многие не верили в надежность работы ламповых передатчиков... Опыта постройки таких станций не было... Мы решили доказать, что ламповый радиотелефонный передатчик является инженерным сооружением, которое следует рассчитывать и проектировать... Несколько месяцев напряженной работы летом 1924 г., и радиотелефонная станция мощностью 640 Вт была готова» [465. С. 90]. В 1924 г. началось систематическое радиовещание через новую радиостанцию НИИС РККА в Сокольниках, где А.Л. Минц при участии И.Г. Кляцкина, Н.И. Оганова и М.И. Басалаева (рис. 11п) построил ряд радиотелефонных передатчиков мощностью от 1,2 (1924 г.) до 20 кВт (1926 г.). В 1924 г. А.Л. Минц стал начальником НИИС РККА (он был создан на базе ВРТЛ), для работы в котором привлек И.Г. Кляцкина, П.Н. Куксенко, М.Ю. Юрьева, Н.И. Оганова и др.

Укажем на две основополагающие работы, выполненные А.Л. Минцем в НИИС РККА в это время: «Основания для расчета модуляции на аноде» [353] и «Основания для расчета модуляции на сетке» [354]. Они стали настольными для радиоспециалистов. Во второй из них, кроме вопросов радиотелефонии, были представлены развернутая теория и методы расчета ламповых генераторов (на основе принципа линеаризации характеристик триодов). Впоследствии полученные результаты были положены в основу расчетов и проектов мощных радиовещательных станций. Кроме того, в НИИС РККА под руководством А.Л. Минца были осуществлены первые радиотрансляции концертов и спектаклей из театральных залов, а также хроникальных передач с улиц и площадей. Изучая акустику помещений, он совместно с И.Г. Кляцкиным предложил метод микширования сигнала с нескольких микрофонов. Отметим также, что А.Л. Минц активно поддерживал радиолюбителей — проводил радиокружки, давал консультации, под псевдонимом «А. Модулятор» писал статьи для научно-популярных журналов.

В 1928 г. А.Л. Минц изобрел метод частотной манипуляции, позволявший передавать телеграфные сигналы с более высокой помехоустойчивостью, чем применявшийся тогда метод амплитудной манипуляции. В том же году он разработал

метод сеточной модуляции — схему Минца, которая почти в течение 10 лет использовалась во всех мощных отечественных радиопередатчиках (ее модификация применялась в телевизионных передатчиках, работавших на УКВ). Кроме того, в 1932 г. А.Л. Минц сделал важное открытие в области телевидения — предложил чересстрочную развертку изображения, благодаря которой удалось в два раза уменьшить полосу частот телевизионного сигнала.

Эти достижения выдвинули А.Л. Минца в число ведущих ученых-радиотехников нашей страны. Не случайно, когда Г.К. Орджоникидзе поставил задачу — развернуть в стране строительство мощных радиовещательных станций, — ее решение было поручено А.Л. Минцу. С этой целью в начале 1928 г. в Ленинграде было сформировано БМР, в которое вошла группа специалистов под руководством А.Л. Минца.

В БМР была спроектирована радиовещательная станция ВЦСПС мощностью 100 кВт. Она была введена в эксплуатацию в 1929 г. Над ее созданием работали А.Л. Минц и его сотрудники: П.П. Иванов, В.Д. Селивохин, М.И. Шавыкин, Н.И. Оганов, М.И. Басалаев, А.В. Перфанович. В станции ВЦСПС был впервые использован многокаскадный передатчик на 18 параллельно соединенных 15 кВт лампах с кварцевой стабилизацией частоты. По типу радиостанции ВЦСПС были затем построены Колпинская (под Ленинградом), Ногинская, Киевская и Новосибирская радиостанции.

В 1930-е гг. А.Л. Минц преподавал в ЛПИ им. М.И. Калинина. В 1932 г. в ЛЭИС им. М.А. Бонч-Бруевича им была организована кафедра радиопередающих устройств. К преподаванию А.Л. Минц привлек выдающих радиоспециалистов: Б.А. Асеева, З.И. Моделя и П.Н. Рамлау. По инициативе А.Л. Минца в ЛЭИС были открыты новые лаборатории, разработаны учебные пособия и разработаны курсы, сыгравшие значительную роль в подготовке молодых радиоспециалистов.

Работая в Ленинграде, А.Л. Минц заинтересовался радиолокацией, а также разработкой телевизионной техники. В 1930 г. при радиозаводе им. Коминтерна он организовал первую в СССР лабораторию радиотелескопии (так тогда называли телевидение). Под руководством А.Л. Минца А.Я. Брейтбарт разработал промышленный комплекс телевизионного оборудования — механический телевизор с размером изображения 27 см x 27 см и четкостью 1200 элементов разложения (30 строк при 12,5 кадров в секунду), передатчик с полосой частот 14 кГц и студийную аппаратуру. В 1932 г. на созданном оборудовании, переданном Ленинградскому

телецентру, начались опытные телевизионные передачи.

В 1931 г. А.Л. Минц стал заведующим отделом радиопередающих устройств ЦРЛ, в котором разрабатывались мощные УКВ генераторы и высоконаправленные антенны. В 1931–1933 гг. под его руководством была разработана и построена самая мощная в то время длинноволновая радиостанция им. Коминтерна на 500 кВт (рис. 12п). Для получения такой большой мощности ученый предложил выходной каскад станции выполнить из нескольких параллельно работающих 100-кВт блоков [348]. Для радиостанции им. Коминтерна А.Л. Минцем совместно с З.И. Моделем, М.И. Конторовичем и С.В. Персоном была разработана оригинальная антенна, которая представляла собой три расположенные в линию синфазные Т-образные антенны с общей горизонтальной сетью, подвешенной на четырех мачтах, с мощными выходными усилителями, включенными в каждое снижение.

Радиостанция им. Коминтерна была запущена в 1933 г. Опыт ее создания был использован при сооружении подобной радиостанции близ Цинциннати (шт. Огайо, США) в 1937 г. Интересно отметить, что такими зарубежными фирмами как RCA и Телефункен были приобретены 14 патентов А.Л. Минца. По его блоковой системе были построены и две радиостанции (мощностью 400 и 800 кВт) в Великобритании.

По предложению А.Л. Минца в 1935 г. БМР был преобразован в КМР им. Коминтерна, в состав которого вошли научно-исследовательский институт с проектными и конструкторскими отделами, опытный завод им. Коминтерна и монтажно-строительное управление. КМР стал ведущей государственной организацией по созданию мощных радиопередающих устройств. А.Л. Минц становится главным инженером и директором КМР, а его заместителем — Г.А. Зейтленок. В комбинате работали видные специалисты в области передающей (В.И. Вологдин, З.И. Модель, И.Х. Невяжский, Н.Н. Пальмов), приемной (В.И. Сифоров) и антенной (А.А. Пистолькорс, А.К. Вальтер, Д.А. Рожанский, М.С. Нейман) техники.

Следующим этапом творческого пути А.Л. Минца стало создание в 1936–1938 гг. самой мощной в мире коротковолновой радиовещательной станции РВ-96 мощностью 120 кВт. В ней впервые был применен метод сложения мощностей в эфире, предложенный И.Х. Невяжским, и антенна, состоящая из двух полуантенн, которая обеспечивала высокую направленность в широком диапазоне частот. Проект антенны был разработан А.Л. Минцем. На каждую из полуантенн работал независимый

радиопередатчик. Оба передатчика имели общий возбудитель, а в высокочастотных трактах полуантенн были установлены фазовращатели. Они позволяли изменять сдвиг фаз между токами в полуантеннах, тем самым, изменяя ее диаграмму направленности. Данная антенна стала прообразом ФАР. Станция РВ-96 проектировалась для международного радиовещания. Ее рабочие длины волн находились в диапазоне от 19 до 49 м. За счет переключения выходных каскадов на различные каналы удалось на ряде волн осуществлять радиовещание в сторону Дальнего Востока, США и Австралии.

А.Л. Минц со своими сотрудниками внес значительный вклад и в создание мощных разборных генераторных ламп. В 1933–1934 гг. он и Н.И. Оганов разработали разборную генераторную лампу мощностью 200 и 250 кВт при анодном напряжении 10 кВ [356]. В случае перегорания катода в этих лампах можно было быстро заменять вышедшие из строя детали. Отметим, что в 1956 г. А.Л. Минц, Н.И. Оганов, М.И. Басалаев и Е.Д. Руднев завершили разработку разборных триодов мощностью 500 кВт с непрерывной откачкой, которые имели высокие эксплуатационные показатели. Такие лампы использовались при создании мощных РЛС.

В проектируемых и сооружаемых в БМР уникальных радиовещательных станциях был реализован ряд научных идей и изобретений А.Л. Минца. К ним можно отнести:

- применение блоковой системы построения выходных ступеней мощных генераторов, обеспечивающей высокую надежность и качество связи;
- использование для увеличения КПД радиостанций контуров, настроенных на нечетные гармоники;
- построение широкополосных коротковолновых антенн на базе цилиндрических вибраторов большого диаметра, крепящихся на металлических башнях и др.

В 1941 г. А.Л. Минц был назначен главным инженером Строительства № 15, которое вел «Особстрой» НКВД. Ему поручили в кратчайшие сроки создать в Куйбышеве (ныне г. Самара) средневолновую радиовещательную станцию фантастической по тем временам мощности — 1200 кВт. Зона вещания станции должна была охватить всю оккупированную фашистами территорию нашей страны. Строительство этой радиостанции проходило в сложных погодных условиях (температура воздуха достигала $-46\text{ }^{\circ}\text{C}$). Необходимые радиодетали изготовляли несколько ленинградских заводов, причем эти работы не прекращались и в период блокады Ленинграда. Подготовленное оборудование из блокированного Ленинграда

перебрасывалось по воздуху и через Ладожское озеро к месту сооружения Куйбышевской радиостанции.

Несмотря на указанные обстоятельства, в 1943 г. станция была сдана в эксплуатацию. Техническими руководителями работ были инженеры З.И. Модель, Н.Н. Пальмов, Л.А. Копытин, П.П. Иванов, А.Л. Минц и др. Как писал А.Л. Минц, «эта станция по своей системе существенно отличалась от станции имени Коминтерна. Там тоже применялась блоковая система, но значительно усовершенствованная. Эта была предложенная мною так называемая система генераторно-модуляторных блоков. Отличалась она тем, что имела в полтора раза больший коэффициент полезного действия» [351. С. 149]. Кроме того, по проектам А.Л. Минца были сооружены радиостанция им. И.В. Сталина (1931–1932 гг.), радиостанции в Новосибирске (1931–1933 гг.), Алма-Ате (1937–1940 гг.), коротковолновые сверхмощные радиостанции в Комсомольске и Петропавловске-Камчатском (1937–1940 гг.). Под общим руководством А.Л. Минца проектировались радиостанции для Киева (1934–1936 гг.), магистральные радиостанции для Москвы, Иркутска, Комсомольска (1935–1938 гг.).

В заключение этого этапа деятельности А.Л. Минца уместно привести высказывание Л.И. Мандельштама. «А.Л. Минц является одним из самых крупных наших радиоспециалистов. ...Достаточно указать, что им спроектированы и построены все мощные радиовещательные станции СССР. Пять станций по 100 кВт и сверхмощная в 500 кВт. При проектировании и руководстве строительством как этих станций, так и целого ряда других типов передатчиков ему приходилось находить новые решения для преодоления тех или иных трудностей, причем он проявил исключительное умение и изобретательность» [50. Л. 1].

Несмотря на выдающиеся научно-технические достижения, А.Л. Минц неоднократно подвергался репрессиям. Он был арестован 27 февраля 1931 г., а 6 июня 1931 г. вместе с группой из 6 человек был осужден коллегией ОГПУ и приговорен к 5 годам лишения свободы. Но уже 18 июля того же года постановлением коллегии ОГПУ был досрочно освобожден и возвращен на ранее занимаемые должности.

7 мая 1938 г. А.Л. Минц был арестован и 28 мая 1940 г. осужден Военной коллегией Верховного суда СССР на 10 лет исправительно-трудовых лагерей. Он отбывал срок в специальном конструкторском бюро НКВД, где занимался разработкой радиовещательной станции РВ-96. 10 июля 1941 г. А.Л. Минц был освобожден

постановлением Президиума Верховного Совета СССР по распоряжению И.В. Сталина со снятием судимости (реабилитирован постановлениями Военной коллегии Верховного Суда СССР от 1956 и 1958 гг.). В 1944 г. А.Л. Минц возглавил лабораторию спецтехники НКВД, в которой он по заданию Государственного комитета обороны разрабатывал радиолокационное оборудование для ночных самолетов-истребителей.

В данной главе проводится историко-научный анализ научных школ в области радиотехники (до этапа формирования радиофизики как науки). Но, на наш взгляд, было бы некорректно не рассмотреть результаты научной школы А.Л. Минца в области создания радиоэлектронных систем для ускорителей заряженных частиц. Хотя деятельность этой школы уже выходит за хронологические рамки этого этапа.

В 1946 г. для развития в СССР фундаментальных и прикладных исследований в области ядерной физики, физики элементарных частиц и плазмы и с целью создания ядерного оружия, при ФИАН была создана Лаборатория № 11. Научное руководство всем комплексом работ по атомной проблеме в нашей стране возлагалось на И.В. Курчатова. В марте 1943 г. он был назначен начальником Лаборатории № 2 АН СССР.

Для скорейшего решения Атомной Программы СССР И.В. Курчатов организовал работы по проектированию и сооружению ускорителей для исследований элементарных частиц. В результате в Лаборатории № 2 был создан радиотехнический отдел во главе с А.Л. Минцем и физический отдел под руководством М.Г. Мещерякова [100].

В 1947 г. Лаборатория № 11 была переведена из ФИАН в Лабораторию № 2. По соображениям секретности Лаборатория № 2 была переименована в ЛИПАН (ныне — РНЦ «Курчатовский институт»), а отдел радиоаппаратуры получил сокращенное обозначение ОРЛИП. В 1951 г. на базе ОРЛИП была организована РАЛАН. В 1957 г. на базе РАЛАН был открыт РТИ АН СССР. Он стал ведущим отечественным радиофизическим центром, в котором выполнялись работы по созданию ускорителей заряженных частиц и радиолокационных комплексов.

А.Л. Минц собрал коллектив высококвалифицированных специалистов: М.И. Басалаев, С.М. Рубчинский, И.Х. Невяжский, П.П. Иванов, Н.И. Оганов, М.М. Вейсбейн и др. Сооружением фазотрона (синхроциклотрона), установленного в 1949 г. в Дубне, руководили А.Л. Минц, Д.В. Ефремов и М.Г. Мещеряков. А.Л. Минцем совместно со своими сотрудниками И.Х. Невяжским и Б.И. Поляковым была предложена оригинальная высокочастотная система фазотрона [355]. Частота генерируемых

колебаний изменялась от 25 до 13 МГц в соответствии с мгновенным значением массы ионов, которая возрастала с увеличением их ускорения. С помощью фазотрона можно было получать пучок протонов с энергией 680 МэВ. За его создание И.Х. Невяжский, Б.И. Поляков, Н.К. Титов, В.М. Лупулов, И.Л. Гуревич были удостоены звания лауреатов Государственной премии.

В начале 1950-х гг. начались работы по созданию в Дубне еще более грандиозного физического инструмента — синхрофазотрона на 10 ГэВ (рис. 13п) [357]. Заметим, что аналогичный американский ускоритель «Беватрон» обладал энергией 6 ГэВ, а в других странах ускорительная техника подобного класса в то время вообще отсутствовала. Физической системой отечественного синхрофазотрона занимался В.И. Векслер, магнитной — Д.В. Ефремов, а радиотехнической — А.Л. Минц.

В этом ускорителе А.Л. Минцем было предложено осуществлять программное управление частотой ускоряющего напряжения с ее коррекцией по мгновенным значениям напряженности магнитного поля. Частота задающего генератора изменялась от 180 кГц до 1,5 МГц с точностью $\pm 10^{-3}$. Кроме того, в этом ускорителе была реализована идея А.Л. Минца об установке ускоряющих электродов в двух из четырех линейных промежутках, расположенных между 90°-ными секторами кольцевого электромагнита. Такое разделение ускоряющих систем позволило вдвое уменьшить требуемую среднюю мощность высокочастотных генераторов. Впоследствии разделение ускоряющих систем применялось во всех ускорителях кольцевого типа.

14 апреля 1957 г. в ИЯП на сооруженном синхрофазотроне был получен пучок протонов с энергией 10 ГэВ. Кроме того, в 1961 г. в ИТЭФ был осуществлен пуск протонного синхротрона (синхрофазотрона) с жесткой фокусировкой на энергию 7 ГэВ. Над его радиоэлектронной системой также работал коллектив А.Л. Минца.

В начале 1960-х гг. в РТИ были развернуты работы по автоматизации ускорителей заряженных частиц на высокие энергии. В 1965 г. они завершились созданием действующей модели уникального по мощности «кибернетического ускорителя», рассчитанного на энергию ускоренных протонов 1000 ГэВ. Этот проект был предложен А.Л. Минцем и его сотрудниками Э.Л. Бурштейном, А.А. Васильевым, С.М. Рубчинским, В.А. Петуховым. Сечение вакуумной камеры «кибернетического ускорителя» составляло всего 22 мм x 16 мм (в десятки раз меньше, чем вакуумные камеры работавших в то время ускорителей), что обеспечивало снижение веса

магнитной системы в 100 раз. Процессы инъекции, пуска, регулирования орбиты, частоты ускоряющего поля и числа бетатронных колебаний были автоматизированы, при этом осуществлялся функциональный контроль систем ускорителя с помощью ЭВМ. Модель «кибернетического ускорителя» стала экспериментальным полигоном для исследования автоматизированных систем, обеспечивающих процесс ускорения заряженных частиц [352]. На ней была показана принципиальная возможность создания ускорителя на 1000 ГэВ и выше, а также подтверждена высокая эффективность использования ЭВМ для ускорителей. Несмотря на серьезное отставание СССР в области вычислительной техники в те годы, приоритет РТИ по автоматизации ускорителей официально признавался зарубежными специалистами.

В 1967 г. коллективом РТИ была одержана еще одна блестящая победа в области создания уникальных ускорительных установок — в ИФВЭ был введен в строй крупнейший в мире по тем временам кольцевой ускоритель протонов (синхротрон) на 76 ГэВ с длиной орбиты 1,5 км.

В.И. Векслером была сформулирована важная проблема в области ускорительной техники — способы формирования вращающихся релятивистских электронных колец. Ее решение позволило бы повысить эффективность ускорения заряженных частиц. В 1967 г. А.Л. Минц предложил идею нового способа создания таких колец. Для этого он организовал рабочую группу, которая выполнила предварительные расчеты и решила ряд инженерных задач, необходимых для создания экспериментальной установки. В 1971 г. на этот метод А.Л. Минцу, М.Л. Левину и Е.Д. Науменко было выдано авторское свидетельство, а результаты их исследования были опубликованы в журнале «ДАН». В 1969 г. А.Л. Минцем и его сотрудниками были выполнены расчеты, показавшие, что при использовании электромагнитов с обмотками из сверхпроводящих проводников, можно построить «кибернетический» синхротрон на энергию 4000–5000 ГэВ.

В заключение расскажем об еще одном направлении научного творчества А.Л. Минца [465; 461]. Речь пойдет о работах по созданию систем ракетно-космической обороны нашей страны. В июне 1950 г., после начала войны в Корее, опасность полномасштабного военного конфликта между сверхдержавами резко возросла, и потребовалось обеспечить комплексную защиту Москвы от возможных массированных воздушных атак. В 1950 г. И.В. Сталин поставил задачу создать систему ПВО г.

Москвы⁸. К работе над этим проектом были привлечены ведущие отечественные специалисты, в том числе академики АН СССР А.А. Расплетин, А.Н. Шукин и А.Л. Минц. Техническое руководство испытаниями системы С-25 возглавил А.А. Расплетин, его заместителем был А.Л. Минц.

В 1955 г. система С-25 была принята на вооружение. Она состояла из 22 РЛС дальнего обнаружения, 56 ЗРК, расположенных двумя кольцами вокруг Москвы, технических баз и командных пунктов управления. Система С-25 стала первым принятым в СССР на вооружение образцом зенитного управляемого ракетного оружия. Дальнейшим развитием идей, заложенных в системе С-25, стало создание ЗРК следующих поколений — С-75, С-125, С-200, С-300.

К 1960-х гг. противоречия в геополитике сверхдержав существенно обострились (достаточно вспомнить Карибский кризис 1962 г.). В связи с наращиванием ракетно-ядерного потенциала и угрозой его применения стало ясно, что если США и страны НАТО получают преимущество в области создания информационных систем и систем управления, обеспечивающих глобальный контроль в возможном военном конфликте, риск ракетно-ядерной войны резко возрастет. Понимая это, в 1954 г. Правительство СССР поручает РАЛАН разработать предложения по созданию системы ПРО г. Москвы. В ее состав должны входить мощные РЛС, позволяющие на большом расстоянии (порядка нескольких 1000 км) обнаружить ракету противника и с высокой точностью определить ее координаты. В 1956 г. вышло Постановление ЦК ВКП(б) и Совета Министров СССР «О противоракетной обороне». В соответствии с ним А.Л. Минц был назначен одним из главных конструкторов РЛС дальнего обнаружения межконтинентальных баллистических ракет.

С этого времени коллектив, возглавляемый А.Л. Минцем, становится активным участником разработок уникальных по своим техническим характеристикам РЛС. При

⁸ С 1949 г. И.В. Сталин обсуждал проблему защиты Москвы от налетов вражеской авиации с главным конструктором противокорабельной ракетной системы КС-1 «Комета» П.Н. Куксенко. Он высказал мнение, что решение такой задачи потребует усилий, сравнимых с реализацией атомного проекта, и возможно только при использовании достижений в области ракетной техники, радиолокации, электроники и других областей науки и техники. 9 августа 1950 г. было принято решение о создании зенитной ракетной системы «Беркут», позже переименованной в С-25.

этом радиолокационную тематику возглавили ученики А.Л. Минца М.М. Вейсбейн и А.Я. Брейтбарт. Для решения поставленной задачи А.Л. Минц и его сотрудники развернули масштабные научные исследования и экспериментальные работы по созданию подобных РЛС. В частности, были проведены натурные эксперименты по наблюдению и измерению ЭПР головных частей баллистических ракет в районе их падения, на основе которых была проведена очень важная работа по выбору оптимального диапазона радиоволн. Им оказался метровый диапазон радиоволн, используемый для локации малоразмерных целей на сверхбольшой дальности.

К радиофизическим исследованиям, связанным с проектированием и созданием РЛС дальнего обнаружения (от параметрических усилителей до влияния случайно неоднородных сред на распространение радиоволн), были привлечены радиофизики во главе с С.М. Рытовым (рис. 14п).

Коллективом А.Л. Минца на основе научных исследований разрабатывались основные элементы РЛС: антенны с узкой диаграммой направленности, ФАР, мощные передающие устройства, формирующие короткие импульсы, малошумящие параметрические усилители. Кроме того, в РТИ была сформирована группа математиков, работавшая над управлением РЛС с помощью ЭВМ и обработкой сигналов от целей.

Гигантские энергии излучаемых сигналов, требующиеся для РЛС дальнего действия, не могли быть реализованы в коротких импульсах, с которыми работали РЛС того времени. Применение же сигналов большой длительности не обеспечивало необходимую точность измерения дальности. В связи с этим требовались принципиально новые формы радиолокационных сигналов с малой пиковой мощностью, но с хорошим разрешением по дальности. А.Л. Минц и его сотрудники сделали выбор в пользу малоизученных в то время фазокодированных сигналов, обладающих характеристиками, близкими к характеристикам оптимальных сигналов с высоким разрешением как по дальности, так и по скорости. История подтвердила правильность этого выбора, особенно в условиях широкого применения цифровых технологий.

В 1956 г. А.Л. Минцем был предложен проект системы, получившей название Центрального варианта ПРО г. Москвы [238]. Его общее руководство осуществлял М.М. Вейсбейн. Проект предусматривал создание РЛС двух типов: ЦСС-30, работающей на

частоте 1 ГГц (ее разработка в 1960 г. была прекращена) и ЦСО-П, работающей на частоте 150 МГц. В 1961 г. успешно завершились испытания станции ЦСО-П.

В конце 1950-х гг. академиком АН СССР В.Н. Челомеем была выдвинута идея создания системы противоспутниковой обороны. К созданию РЛС для этой системы он привлек А.Л. Минца, который поручил своему сотруднику Ю.В. Поляку создать проект системы ККП. В 1962 г. вышло правительственное Постановление о создании системы ККП на основе РЛС ЦСО-П. На базе ЦСО-П в 1963 г. были разработаны РЛС «Днепр» и комплекс ОС с двумя узлами ОС-1 и ОС-2, которые были расположены в двух регионах Сибири на расстоянии примерно 2000 км друг от друга. Эти станции состояли из восьми секторных РЛС и позволяли с высокой вероятностью обнаруживать спутники и измерять параметры их движения. В 1966 г. РЛС «Днепр» была модернизирована (ее модификацией стала РЛС «Днепр-М»), в результате чего длительность зондирующего сигнала была увеличена с 200 мкс до 800 мкс, что позволило существенно увеличить дальность действия (до 6000 км).

После постановки на боевое дежурство РЛС «Днепр-М» под руководством Ю.В. Поляка были проведены работы по ее усовершенствованию. На основе РЛС «Днепр-М» была создана РЛС «Днепр». В 1963 г. А.Л. Минц создал в РТИ лабораторию по разработке РЛС для высокоточного обнаружения и сопровождения баллистических ракет. Это стало началом разработки РЛС «Дон-2Н» (рис. 15п), на создание и испытание которой ушло 20 лет. При разработке и создании в РТИ последующих РЛС (серий «Днепр» «Дарьял» и «Дон») в полной мере были использованы научно-техническое наследие А.Л. Минца, при участии которого эти проекты зарождались. Указанные РЛС и сегодня находятся на боевом дежурстве, выполняя свои функции в современных системах ПРН, ККП и ПРО.

Работы по созданию РЛС дальнего обнаружения, начатые в 1960-х гг. при А.Л. Минце, были продолжены его учениками после того, как он ушел из РТИ в 1970 г. После него директором этого института стал Б.П. Мурин. В течение последних лет своей жизни А.Л. Минц готовил к публикации сборники своих избранных научных трудов, вышедшие в 1976–1987 гг. 29 декабря 1974 г. А.Л. Минц ушел из жизни.

Становление научной школы. Обсудим факторы, оказавшие влияние на формирование научных школ А.Л. Минца в области техники мощных радиовещательных станций и ускорительной техники (точнее, создания

радиоэлектронных систем для ускорителей заряженных частиц). Фактически, можно говорить о «супершколе» А.Л. Минца.

Во-первых, как уже отмечалось, деятельность научных школ И.Г. Фреймана и М.В. Шулейкина привела к разработке научно-инженерного подхода к решению различных радиотехнических задач. Будучи учеником М.В. Шулейкина А.Л. Минц внес существенный вклад в развитие этого подхода применительно к проектированию и сооружению мощных радиопередатчиков и радиовещательных станций. А.Л. Минц вспоминал, что благодаря своему второму учителю — М.В. Шулейкину — он понял, что «нет инженерного искусства без серьезной науки, что подведение научной теоретической базы под методы инженерного расчета является основной задачей ученого-радиотехника» [Цит. по: 461. С. 97, 98].

Традиции, сложившиеся в научных школах И.Г. Фреймана и М.В. Шулейкина, были унаследованы А.Л. Минцем. Его исследования также отличала практическая и инженерная направленность. Под руководством М.В. Шулейкина А.Л. Минц в ВРТЛ РККА выполнил свои первые работы по проектированию радиостанций (станции в Сокольниках), опубликовал ряд радиотехнических статей (например, по расчету радиосетей), оформил патент на изобретение. Приобретенный опыт в дальнейшем был использован А.Л. Минцем при сооружении более сложных радиотехнических объектов.

Во-вторых, практически все работы А.Л. Минца были связаны с задачами государственного масштаба. Начав с разработки армейской радиостанции «АЛМ», он вместе со своими сотрудниками выполнил цикл теоретических и практических исследований, позволивших выйти на качественно иной уровень в создании и строительстве радиовещательных станций, а затем и РЛС.

В-третьих, следует отметить деятельность А.Л. Минца в различных организациях (НИИС РККА, БМР, КМР), позволившая ему приобрести ценный опыт организатора и руководителя больших коллективов радиоспециалистов и инженеров. В итоге ими были спроектированы и построены уникальные по своим характеристикам радиовещательные станции: ВЦСПС, радиостанция им. Коминтерна, РВ-96, Куйбышевская радиостанция и др. При разработке нового радиотехнического объекта А.Л. Минц предлагал инновационные идеи и разработки, в частности, метод частотной манипуляции, метод сеточной модуляции, блоковую систему, мощные разборные генераторные лампы и др., обеспечившие решение сложнейших научно-технических задач.

Кроме того, А.Л. Минц участвовал в работе РОРИ, где слушал выступления ученых-радиотехников, сам выступал с докладами на радиотехнические темы, обменивался опытом с радиоспециалистами.

В-четвертых, основу научной школы А.Л. Минца в области создания радиоэлектронных систем для ускорителей заряженных частиц составил коллектив талантливых ученых-радиотехников и инженеров, работавших вместе с ним над проектированием и строительством мощных радиовещательных станций.

Полученный ими опыт был применен к ускорительной проблематике. В результате под руководством А.Л. Минца в РТИ были разработаны радиоэлектронные системы для таких отечественных ускорителей, как фазотрон на 680 МэВ, синхрофазотрон на 10 ГэВ, протонный синхротрон на 7 ГэВ, кольцевой ускоритель протонов на энергию 76 ГэВ и др. А.Л. Минцем и его коллегами были предложены оригинальные научно-технические решения, например, высокочастотные схемы, программное управление частотой ускоряющего напряжения, способ формирования вращающихся электронных колец, модель «кибернетического ускорителя» и др. Отметим, что эти разработки также обладали высоким государственным статусом, так как они выполнялись в рамках Атомной Программы СССР.

В-пятых, А.Л. Минц и руководимый им коллектив в РАЛАН (а затем и в РТИ) выполнил исключительно важные с военной и стратегической точки зрения работы по проектированию и конструированию РЛС для систем ПРО, ККП и ПРН. При этом потребовалось решить чрезвычайно трудные научно-технические и конструкторские задачи: выбор оптимального диапазона радиоволн, разработка радиофизической аппаратуры для РЛС, обоснование формы радиолокационных сигналов и др. Научная школа А.Л. Минца также успешно справилась с поставленными задачами: такие РЛС, как «Днестр», «Днестр-М», «Днепр», «Дон-2Н» и др. были сданы в эксплуатацию.

Тем самым, была решена важнейшая проблема — создание надежных систем ПРО, ККП, ПРН, обеспечивших оборону и военный потенциал нашей страны. Разумеется, такие грандиозные проекты невозможно было реализовать в одиночку, поэтому А.Л. Минц активно привлекал к исследованиям своих сотрудников.

Исследовательская программа. А.Л. Минц и его сотрудники выполнили масштабные работы по различным вопросам инженерной радиотехники, проектированию и строительству мощных радиовещательных станций,

радиоэлектронных систем для ускорителей заряженных частиц, РЛС дальнего обнаружения и др. В частности, были предложены методы расчета антенн, выдвинуты основополагающие идеи в области мощного радиостроения, разработаны новые типы радиоламп, телевизионное оборудование. Большая часть изобретений А.Л. Минца и его учеников была внедрена в радиопромышленность и военно-промышленный комплекс нашей страны. Укажем также, что А.Л. Минц осуществил первые в СССР опыты по радиотрансляции передач, концертов, торжественных мероприятий (в том числе — похорон В.И. Ленина с Красной площади в 1924 г.).

Таким образом, тематика научных исследований А.Л. Минца многогранна, она охватывает наиболее важные радиотехнические проблемы, возникавшие в период деятельности его научных школ. К магистральному направлению научной деятельности А.Л. Минца и его сотрудников следует отнести **научно-инженерный подход к проектированию и конструированию мощных радиовещательных станций, радиоэлектронных систем для ускорителей заряженных частиц и РЛС для систем ПРО, ККП, ПРН.**

Данная исследовательская программа конкретизировалась в связи с задачами, которые ставило Правительство СССР перед А.Л. Минцем и его коллективами. Эту эволюцию можно проследить по описанию результатов научной деятельности и публикациям А.Л. Минца.

Стиль руководства в научной школе. Несомненно, А.Л. Минц был чрезвычайно разносторонним ученым и организатором науки. Помимо этого, он преподавал в Высшей военной школе связи РККА (1921–1923 гг.), ЛПИ им. М.И. Калинина (1929–1930 гг.), ЛЭИС им. М.А. Бонч-Бруевича (1930–1938 гг.). В 1926–1930 гг. он руководил дипломным проектированием студентов.

Как отмечал В.А. Говядинов (заместитель директора по научной работе Научно-исследовательского института экономики и информации по радиоэлектронике), «его (А.Л. Минца — *В.К.*), доцента Ленинградского политехнического института им. М.И. Калинина, а затем профессора Ленинградского электротехнического института инженеров связи им. М.А. Бонч-Бруевича, помнят и любят тысячи его учеников, работающих сейчас в науке и промышленности» [351. С. 229].

А.Л. Минц был руководителем творческих коллективов в НИИС РККА, БМР, КМР, образовавших научную школу А.Л. Минца в области техники мощных

радиовещательных станций, а также организатором исследований в РАЛАН, РТИ по разработке радиоэлектронных систем для ускорителей заряженных частиц и РЛС.

Приведем характерные черты научных школ А.Л. Минца, сопроводив их в некоторых случаях фрагментами из воспоминаний А.Л. Минца и его сотрудников. По этим материалам можно сформировать представление о стиле руководства в обсуждаемых научных школах.

- Комплексный характер разработок и проводимых исследований.

По словам А.Л. Минца, «...мы не отделяли теорию от эксперимента, исследование от практики, проектирование от сооружения... Вся цепь работ, начиная от научных исследований и изыскания новых лучших систем и кончая пуском в эксплуатацию всего сооружения в целом, была единой и непрерывной» [Там же. С. 100].

- Четкое и непротиворечивое формулирование проблемы, решение которой действительно необходимо для страны.

- Применение «опережающих» научно-технических результатов и инновационных технологий.

Как сказал С.М. Рубчинский, «А.Л. был настоящий борец. Он боролся за порученное ему дело, за реализацию своих предложений, за свой коллектив, за выполнение работы в заданный срок на самом высоком научном уровне. Он боролся за то, чтобы сделанное было всегда самое-самое: самое мощное, самое первое, самое крупное. Самое передовое» [Цит. по: 408].

- Объединение специалистов различного профиля в сплоченный коллектив для решения актуальных научно-технических и инженерных задач.

Коллектив А.Л. Минца объединял теоретиков и инженеров-исследователей, крупных специалистов по проектированию и конструированию, инженеров-производственников и руководителей монтажных работ. В РТИ А.Л. Минцем был создан коллектив, который в короткие сроки мог решать сложнейшие научные и производственные задачи, связанные с созданием РЛС дальнего обнаружения.

- Внедрение научных разработок в производство радиоаппаратуры, военно-промышленный комплекс, реализация технологического цикла «от идеи до практики».

Научно-техническим кредо А.Л. Минца было «от научного замысла до полного завершения», включая выдвижение передовых идей, проектирование, конструирование и монтаж установок, сдача их в эксплуатацию.

- Профессиональные качества А.Л. Минца как руководителя научных школ, талантливого организатора науки.

Как отмечал И.Г. Кляцкин, А.Л. Минц был очень трудолюбив («двенадцатичасовой рабочий день был для него правилом»), он обладал сильной развитой «физической интуицией — легко разбирался во всех тонкостях радиотехники и электроники» [351. С. 178]. По этой причине «...он быстро находил рациональное зерно в предложениях своих сотрудников, а когда они находились в тупике, мог подбросить новые идеи и подсказать путь к решению задачи» [Там же]. Кроме того, А.Л. Минц имел феноменальную память — «он всегда держал в голове сложнейшие схемы больших установок, которые он строил, и при разговоре с теми или другими работниками... мог увязать отдельные части крупных сооружений» [Там же].

- Эффективная организация научной деятельности, четко слаженная работа сотрудников А.Л. Минца.

Как отмечал Г.А. Зейтленок, «работал Александр Львович по заранее составленному расписанию, которого строго придерживался. Все сотрудники, непосредственно ему подчиненные, знали свои дни и часы приема. Опоздания не допускались. Когда назначенное время истекало, беседа прерывалась. Поэтому все тщательно готовились к докладу, к возможным вопросам... Широкие технические совещания не проводились, обсуждения велись в узком кругу заинтересованных лиц... Он был точен и не нуждался в напоминании, не был мелочным и предоставлял широкую свободу творческой инициативе сотрудников и своих непосредственных подчиненных» [Там же. С. 191].

- Расширение кругозора учеников и творческой самостоятельности сотрудников и учеников А.Л. Минца.

Б.П. Мурин писал, что А.Л. Минц «находил время для внимательного просмотра наших рукописей и статей и даже контролировал наши контакты с библиотекой. Он не допускал, чтобы молодой специалист не интересовался новинками научно-технической литературы» [Там же. С. 215].

Указанные особенности стиля руководства в научных школах А.Л. Минца позволили сформировать коллективы талантливых ученых, инженеров, конструкторов, способных решать амбициозные проекты.

В завершение отметим, что «результативность работ А.Л. Минца на протяжении

всей его почти шестидесятилетней деятельности, несомненно, связана с присущим ему исключительным сочетанием в одном человеке данных крупного ученого, талантливого инженера и блестящего организатора, обладающего тонким чувством нового, способностью идти на технический риск и умением сплачивать людей самых различных специальностей и квалификаций» [100. С. 166].

Представители научной школы. Приведем выдержку из книги А.Л. Минца о его учениках. «У меня их было много. Из наиболее старейших мне бы хотелось отметить Порфирия Порфирьевича Иванова, который был моим заместителем при проектировании радиовещательных станции. Он начал работать со мною еще студентом, хотя по годам был даже немного старше меня. К этой же плеяде моих учеников относятся и Николай Иванович Оганов — один из самых талантливых изобретателей, с которыми мне приходилось встречаться в жизни, Михаил Иванович Басалаев, профессора И.Г. Кляцкин, И.Х. Невяжский, З.И. Модель и Г.А. Зейтленок, а также Михаил Михайлович Вейсбен, Эмиль Михайлович Рубчинский и многие другие. Мне и моим сотрудникам, и ученикам, строившим, разрабатывавшим и проектировавшим магистральные радиоцентры, вводившим их в действие, выпало счастье участвовать в преобразовании нашей страны» [351. С. 154].

Приведем список некоторых сотрудников и учеников А.Л. Минца и кратко охарактеризуем полученные ими результаты. При этом многие из них являются представителями обеих научных школ А.Л. Минца.

- М.И. Басалаев — разработчик вакуумных систем всех больших кольцевых и линейных ускорителей, соорудившихся в 1950-1960 гг. в СССР, лауреат Государственных премий СССР за создание фазотрона на 680 МэВ (1951 г.) и за разработку, сооружение и ввод в действие линейного ускорителя протонов «И-100» на 100 МэВ (1970 г.).

- И.Х. Невяжский — доктор технических наук, профессор, специалист в области радиопередающих устройств и мощного радиостроения. В 1930-х гг. он руководил разработкой коротковолновых передатчиков для магистральной связи и передатчиков для радиовещания, в 1935–1938 гг. вместе с А.Л. Минцем сконструировал радиостанцию РВ-96, а с 1946 г. работал в РТИ. И.Х. Невяжский занимался разработкой высокочастотной системы синхроциклотрона на 680 МэВ, инжекторов протонов с сильной фокусировкой для синхротрона на 76 ГэВ. Он — лауреат Государственной

премии СССР за разработку, сооружение и ввод в действие линейного ускорителя протонов «И-100» на энергию 100 МэВ (1970 г.).

▪ З.И. Модель — доктор технических наук, профессор, специалист в области радиопередающих устройств и мощного радиостроения. В 1930-х гг. он руководил разработками мощных радиостанций средних и длинных волн, модуляционных устройств, первого в стране мощного телевизионного передатчика и др. В 1950-х гг. З.И. Модель руководил созданием мощных коротковолновых передатчиков, в том числе сверхмощного коротковолнового передатчика, телевизионной УКВ-станции, генераторов для ускорителей частиц. Совместно с И.Х. Невяжским З.И. Модель написал книгу «Радиопередающие устройства» (1949 г.).

▪ П.Н. Куксенко — доктор технических наук, профессор, разработчик систем ПВО, генерал-майор инженерно-технической службы, лауреат двух Сталинских премий, участвовал в создании первой советской самолетной радиостанции РСБ-5. В 1947 г. П.Н. Куксенко стал главным конструктором системы КС-1 «Комета», а в 1950 г. — зенитной ракетной системы ПВО С-25 «Беркут».

▪ Н.И. Оганов — доктор технических наук, лауреат Ленинской премии, крупнейший специалист в области радиотехники и мощного радиостроения. Он работал в НИИ-108 начальником лаборатории радиопередающих устройств (в частности, руководил разработкой аппаратуры шумовых помех радиолокаторам), а затем в РАЛАН, где под его руководством проектировались мощные радиопередающие устройства для наведения зенитных ракет.

▪ А.Я. Брейтбарт — изобретатель первого советского серийного телевизора Б-2, автор первого в СССР учебника по телевидению для высших технических учебных заведений, главный инженер ОЛТЦ. В 1944 г. параллельно с работами по радиолокации, он участвовал в разработке телевизионного стандарта СССР (625 строк).

▪ С.М. Рубчинский — доктор технических наук, профессор, ученый в области радиоэлектроники, участвовал в создании радиоэлектронных систем для ускорителей заряженных частиц, лауреат Ленинской премии 1959 г. за создание синхрофазотрона на 10 ГэВ (руководил разработкой радиотехнических систем синхрофазотрона). С.М. Рубчинский был организатором и в течение 25 лет руководителем отдела, в котором конструировались системы управления процессами ускорения частиц для фазотрона на 680 МэВ, синхрофазотрона на 10 ГэВ и протонного синхротрона на 7 ГэВ. Этот отдел в

1976 г. был преобразован в МРТИ. Под непосредственным руководством С.М. Рубчинского работали ведущие разработчики ускорительной техники МРТИ: Г.И. Бацких, А.А. Васильев, Ф.А. Водопьянов, В.Ф. Кузьмин, А.А. Кузьмин, Г.И. Кленов и др.

- Б.И. Поляков — кандидат технических наук, специалист в области радиоэлектронных систем для ускорителей заряженных частиц, один из разработчиков уникальных систем генерации для фазотрона на 680 МэВ, линейных протонных ускорителей «И-2», «И-100» и линейного ускорителя «Мезонной фабрики». Б.И. Поляков — лауреат Государственных премий СССР за создание фазотрона на 680 МэВ (1951 г.) и за разработку, сооружение и ввод в действие линейного ускорителя протонов «И-100» на 100 МэВ (1970 г.).

- Ю.В. Поляк — доктор технических наук, профессор, лауреат Ленинской премии и Государственной премии СССР, начальник отдела РТИ, главный конструктор РЛС, систем ПРО и ККП. В 1963 г. он организовал лабораторию математического (алгоритмического) обеспечения радиолокационных ячеек и командных пунктов.

- Б.П. Мурин — доктор технических наук, профессор, крупнейший специалист по линейным протонным ускорителям, радиотехнике и системам автоматического регулирования процессов в ускорителях. Он прошел трудовой путь от инженера до директора РТИ, который возглавлял с 1970 по 1977 г. Б.П. Мурин — лауреат Государственной премии за разработку, сооружение и ввод в действие линейного ускорителя протонов «И-100» на 100 МэВ (1970 г.), один из разработчиков систем автоматического регулирования для линейных протонных ускорителей «И-2», «И-100» и линейного ускорителя «Мезонной фабрики».

- Талантливые ученые-радиотехники и конструкторы: С.В. Персон, М.М. Весбейн, Н.К. Титов, П.П. Иванов, В.Д. Селивохин, А.В. Перфанович, В.М. Лупулов И.Л. Гуревич и др.

В заключение приведем высказывание А.Л. Минца о своих учениках. «Особенно счастлив я был в сотрудниках и учениках своих. Как много блестящих и талантливых радиотехников пришлось мне встретить на своем пути и удалось вовлечь в круг своих работ... Очень многому я научился у моих сотрудников и учеников и понял при этом все великое значение положительной обратной связи, благодаря которой преодолевается активное сопротивление любого колебательного контура, да и не только контура» [351. С. 103].

Результаты научной школы. Научная школа А.Л. Минца внесла ценный вклад в инженерную радиотехнику, спроектировав и построив несколько мощных радиовещательных радиостанций. При разработке этих радиотехнических объектов широко использовались идеи и изобретения самого А.Л. Минца, а также его учеников.

В 1957 г. на базе РАЛАН по инициативе А.Л. Минца был организован РТИ, в котором представители его научной школы проводили работы по разработке радиоэлектронных систем для ускорителей заряженных частиц и РЛС дальнего обнаружения. С 1954 по 1968 гг. под общим руководством А.Л. Минца были разработаны и развернуты, наряду с полигонным образцом РЛС ЦСО-П, первые отечественные РЛС дальнего обнаружения серии «Днестр», которые использовались для систем ККП и ПРН. Их модификации стали неотъемлемыми элементами обеспечения национальной безопасности.

В 1945 г. А.Л. Минц стал одним из инициаторов создания Научно-технического общества радиотехники, электроники и связи им. А.С. Попова, продолжившего традиции РОРИ. В 1950 г. за совокупность работ в области мощного радиостроения и в других областях радиотехники А.Л. Минц был награжден Золотой медалью им. А.С. Попова. Он стал третьим (после В.П. Вологодина и Б.А. Введенского) лауреатом этой престижной научной награды. Работа по созданию фазотрона в 1951 г. была отмечена присуждением ему Сталинской премии 1-й степени. Вклад А.Л. Минца в создание системы С-25 «Беркут» был отмечен присвоением ему в 1956 г. звания Героя социалистического труда. За создание синхрофазотрона на 10 ГэВ ему в 1959 г. была присуждена Ленинская премия (совместно с В.И. Векслером, Ф.А. Водопьяновым, Д.В. Ефремовым, Л.П. Зиновьевым, А.А. Коломенским, Е.Г. Комаром, Н.А. Моносоном, В.А. Петуховым, М.С. Рабиновичем, С.М. Рубчинским, А.М. Столовым).

В 1975 г. была выпущена почтовая марка СССР, посвященная А.Л. Минцу, а в 1985 г. по инициативе сотрудников РТИ этому институту было присвоено имя А.Л. Минца. Начиная с 2010 г., ежегодно ко дню рождения А.Л. Минца (8 января) в РТИ присуждается премия Минца за научно-технические достижения в трех номинациях:

- за достижения в области науки и техники по тематике ОАО РТИ;
- за большой вклад в педагогическую деятельность по обучению и воспитанию молодых специалистов;
- за достижения в области науки и техники по тематике ОАО РТИ молодому

специалисту до 30 лет.

Таблица 3, заполненная применительно к научным школам А.Л. Минца, приведена в Приложении 4 (таблица 3п). С целью упрощения описания их параметров использован термин «научная школа», считая, что речь идет о двух научных школах А.Л. Минца.

§ 3.5. Научная школа В.К. Аркадьева (лаборатория электромагнетизма им. Дж.К. Максвелла)

«Владимир Константинович Аркадьев — виднейший русский представитель классической электродинамики, блестящий экспериментатор, учитель и воспитатель научной молодежи...»

[326. С. 467]

Н.Н. Малов

Источники литературы. К библиографическим трудам, посвященным научной деятельности В.К. Аркадьева и его школы, следует отнести:

- автобиографию В.К. Аркадьева, характеристику его научных работ, составленную С.Т. Конобеевским [479. С. 54–63];
- книгу В.И. Козлова «Владимир Константинович Аркадьев» (серия «Выдающиеся ученые физического факультета МГУ») [275], в которой приведено описание жизни и научной деятельности В.К. Аркадьева;
- доклад В.К. Аркадьева «Московская магнитная лаборатория (1920–1924)» [83], который им был прочитан в 1925 г. на заседании «Магнитного коллоквиума», посвященном пятилетию деятельности этой лаборатории;
- обзор научной деятельности лаборатории электромагнетизма им. Дж.К. Максвелла (1919–1939 гг.) [81], содержащий исторические сведения о ее формировании и развитии, результаты научной работы, информацию об организациях, возникших на основе этой лаборатории и др.;
- фонд 641 АРАН, в который включены собрание научных работ В.К. Аркадьева по электромагнетизму и другим вопросам физики, научно-популярные статьи, доклады, статьи для энциклопедических словарей, отзывы о диссертациях и научных трудах, биографические документы, материалы А.А. Глаголевой-Аркадьевой, письма, индивидуальные и групповые фотоснимки В.К. Аркадьева и др.;

- статьи Н.Н. Малова «Владимир Константинович Аркадьев (1884–1953)» [326], «Александра Андреевна Глаголева-Аркадьева (1884–1945)» [79], А.А. Глаголевой-Аркадьевой «Новая шкала электромагнитных волн» [164], опубликованные в журнале «Успехи физических наук», статью «А.А. Глаголева-Аркадьева. 120 лет со дня рождения. Люди физфака» [196], напечатанная в газете «Советский физик»;

- информационные ресурсы АРАН, электронной библиотеки «Научное наследие России», содержащие научно-биографические сведения о В.К. Аркадьеве.

Направление радиофизики. В главе 1 были отмечены научные достижения, оказавшие основополагающее влияние на признание и развитие теории электромагнитного поля Дж.К. Максвелла. Хронологически этот период охватывает 1865–1895 гг. В конце XIX в. в уравнениях Максвелла фигурировало три параметра, характеризующих вещество, — электрическая проницаемость ϵ , электропроводность σ и магнитная проницаемость μ . При этом они считались постоянными. Хотя в 1872 г. А.Г. Столетовым было установлено, что магнитная проницаемость ферромагнетиков сложным образом зависит от напряженности магнитного поля. Кроме того, в работах П. Друде, относящихся к началу XX в., было показано, что поведение вещества в переменных полях зависит от соотношения между током смещения и током проводимости, меняющегося с изменением частоты внешнего поля. Однако он исследовал только неферромагнитные вещества и поэтому не предполагал частотной зависимости указанных параметров.

Как известно, наряду с открытием явления давления света на твердые тела и газы, П.Н. Лебедев известен своими экспериментами по генерации и исследованию миллиметровых электромагнитных волн. Он получил самые короткие на тот момент электромагнитные волны ($\lambda = 6$ и 4 мм), и в 1895 г. проделал с ними опыты по двойному лучепреломлению [447]. Работы П.Н. Лебедева в этом направлении продолжил его ученик В.К. Аркадьев, который с помощью стоячих волн, образующихся в проволоках, получил электромагнитные волны с $\lambda = 11$ мм.

Научная биография руководителя научной школы. Владимир Константинович Аркадьев (1884–1953) — член-корреспондент АН СССР, доктор физико-математических наук, профессор, основоположник магнитной спектроскопии [326; 275]. Он родился 9 (21) апреля 1884 г. в Москве. В 1904 г. после окончания Второй

московской гимназии⁹ В.К. Аркадьев поступил на математическое отделение физико-математического факультета Московского университета, где слушал курсы Н.А. Умова и П.Н. Лебедева.

Отметим, что до этого В.К. Аркадьев посещал публичные лекции по физике, читавшиеся в физической аудитории Московского университета. Согласно автобиографии, на него большое впечатление произвели демонстрации опытов И.Ф. Усагиным на лекциях: Н.А. Умова («Луч света как орудие исследования молекулярного мира»); П.Н. Лебедева (по высоким температурам и лучам Рентгена); А.А. Эйхенвальда (о вольтовой дуге и катодных лучах); А.В. Цингера (об открытии гальванизма); Т.П. Кравца (по оптике); А.Р. Колли (по теплоте, беспроволочному телеграфу); С.Г. Крапивина в химической аудитории университета.



В.К. Аркадьев

Будучи на первом курсе, В.К. Аркадьев работал у Н.А. Умова, занимаясь определением скорости распространения магнитных волн вдоль железных стержней. Он также планировал провести опыт по измерению скорости Земли относительно эфира (в то время специальная теория относительности еще не была разработана). В 1905–1906 гг. по совету П.Н. Лебедева В.К. Аркадьев прошел общий практикум по физике у А.П. Соколова, а с 1906 г. — начал работать в лаборатории П.Н. Лебедева.

В этой связи уместно привести фрагмент из воспоминаний В.К. Аркадьева о выборе темы его научного исследования. Она стала одной из магистральных на протяжении всей научной биографии В.К. Аркадьева. «Сначала он (П.Н. Лебедев — *В.К.*) предложил мне самому выбрать тему моего исследования. Я указал на вопрос о зависимости намагничивания от времени, в частности о зависимости проницаемости железа от частоты переменного магнитного поля. Петр Николаевич отверг эту тему и предложил мне взамен разработать спектрограф для инфракрасных волн... Я вскоре начал проектировать вакуум-микрорадиометр для автоматической записи энергии в спектре» [75. Л. 9, 10].

В то время П.Н. Лебедев читал факультативный курс «Современные задачи

⁹ Талант искусного экспериментатора проявился у В.К. Аркадьева уже при обучении в этом учебном заведении. Он собственноручно конструировал различные физические приборы, например, электростатическую машину, воздушный ртутный насос, гальванометр и др.

физики», который пользовался большим успехом, как у студентов, так и у преподавателей Московского университета. «После одной из лекций, на которой он читал об опытах Хагена и Рубенса, обнаруживших, что в длинных инфракрасных волнах ферромагнитные металлы теряют способность намагничиваться, Петр Николаевич возобновил со мной разговор о теме моей работы. Теперь, взамен работы со спектрографом, он предложил мне выяснить, способны ли ферромагнитные металлы, т. е. железо, никель и др. намагничиваться в наиболее коротких герцевых волнах. Я охотно взял эту тему; она как нельзя больше отвечала моему собственному желанию исследовать намагничивание в переменных полях» [Там же. Л. 10].

В конце 1907 г. В.К. Аркадьев установил, что существует предел скорости намагничивания железа: «оно не успевает перемагничиваться, и магнитные свойства его как бы исчезают, если магнитное поле изменяется десять тысяч миллионов раз в секунду» [479. С. 55]. В опытах он использовал ферромагнитные металлы в виде порошков, смешивая их с парафином. Из этой смеси были изготовлены призмы, с помощью которых исследовалось преломление коротких электромагнитных волн ($\lambda = 3$ см). Результаты экспериментальной работы были опубликованы в статье [86].

Далее воспроизведем фрагмент из воспоминаний В.К. Аркадьева. «...Петр Николаевич предлагает перейти на другой метод изучения магнитных свойств, именно изменяя отражение герцевых волн от тонких металлических проволок» [75. Л. 11]. Исследуя отражение сантиметровых волн от решеток, представляющих собой тонкие металлические проволоки, В.К. Аркадьев обнаружил явление исчезновения ферромагнитных свойств железа и никеля (резкое уменьшение их магнитной проницаемости) на длине волны $\lambda = 3$ см. В 1908 г. эта работа была удостоена премии Общества любителей естествознания, антропологии и этнографии.

С этого же года В.К. Аркадьев начал работать на педагогических курсах им. Д.И. Тихомирова. В 1909 г. он совершил поездку по странам Европы, а в 1913 г. — участвовал в работе съезда по кинетической теории материи в Геттингене, где установил ряд научных контактов с ведущими зарубежными физиками того времени. В 1913 г. В.К. Аркадьев побывал на открытии физического института Венского университета и на съезде немецких естествоиспытателей в Вене, где познакомился с А. Эйнштейном, В. Кеезомом, А. Зоммерфельдом, Г. Рубенсом и другими учеными.

Однако плодотворная деятельность П.Н. Лебедева и его сотрудников была

прервана в 1911 г., когда они ушли из Московского университета в знак протеста против произвола, допущенного министром народного просвещения Л.А. Кассо. В.К. Аркадьев сосредоточил свою научную деятельность в Городском народном университете им. А.Л. Шанявского (куда он был приглашен П.П. Лазаревым в качестве ассистента) и на курсах им. Тихомирова. В университете он руководил практическими занятиями слушателей, как в общем, так и в специальном практикуме. Студенты, выполняя официальный учебный план в МГУ, удовлетворяли свои научные интересы в университете им. А.Л. Шанявского. В этой обстановке под руководством В.К. Аркадьева А.Г. Калашниковым, А.С. Беркманом и Н.Н. Яковлевым были выполнены исследования: по дифракции света; Б.А. Введенским, Н.В. Баклиным и Б.А. Миленцем — по электромагнетизму.

Работы по дифракции света имели исключительный успех: их описание приводилось в различных зарубежных журналах, фотоснимки дифракционных картин перепечатывались и издавались разными фирмами в виде набора диапозитивов. В иностранных анонсах о новых книгах появлялись заметки о выходе в свет монографии В.К. Аркадьева, посвященной дифракции и интерференции света. Любопытно отметить, что в известной книге А. Эйнштейна и Л. Инфельда «Эволюция физики» приводятся фотографии дифракционных картин, полученных В.К. Аркадьевым и его сотрудниками А.С. Беркманом и Н.Н. Яковлевым.

В.К. Аркадьев всегда стремился к практической реализации научных результатов. Так, совместно с Н.В. Баклиным в 1914 г. им был сконструирован первый импульсный генератор высокого напряжения. Этот прибор состоял из системы параллельно включенных конденсаторов. При их зарядке до достаточно высокого потенциала возникал пробой искровых промежутков, в результате чего конденсаторы включались последовательно, и напряжение на выходе прибора возрастало. Построенные на таком принципе генераторы («генераторы молний») применялись в исследованиях, требовавших сверхвысоких напряжений. Их описание под названием «искрового трансформатора» было приведено В.К. Аркадьевым в 1925 г.

Работая со студентами МГУ и слушателями университета им. А.Л. Шанявского, В.К. Аркадьев высказал идею об изучении магнитных свойств металлов путем определения коэффициента отражения от них микроволн. При этом предлагалось фиксировать «время жизни» коротковолнового импульса внутри замкнутой полости. Данный метод под названием «эхо-бокса» появился в США только через 30 лет. В

России эта работа была начата в 1914–1915 гг. В.К. Аркадьевым совместно с Б.А. Миленцом после того, как он впервые построил для генерации незатухающих электромагнитных волн сантиметрового диапазона ступенчатую решетку. На основе метода ступенчатой решетки Э. Никольс и И. Тир в 1923 г. получили слабозатухающие электромагнитные волны длиной от 27 до 4,2 мм. Забегая вперед, отметим, что с помощью массового излучателя и метода ступенчатой решетки А.А. Глаголева-Аркадьева получила монохроматические волны с длиной волны: $50 \text{ мм} > \lambda > 0,082 \text{ мм}$.

В университете им. А.Л. Шанявского Б.А. Введенский под руководством В.К. Аркадьева разработал теорию образования вихревых токов, возникающих при периодическом намагничивании цилиндра, и измерил время размагничивания железа. Впоследствии более детально эту работу выполнил другой ученик В.К. Аркадьева Р.В. Телеснин. Кроме того, В.К. Аркадьев выполнил второе исследование зависимости магнитных свойств ферромагнетиков от длины волны (1911 г.). В первой работе использовался метод отражения сантиметровых волн от тонких металлических проволок, а во второй — метод поглощения волн, распространяющихся вдоль тонких проволок. В.К. Аркадьев подтвердил исчезновение ферромагнитных свойств, изучая поглощение сантиметровых волн в двухпроводной линии. Результаты этого экспериментального исследования были опубликованы в статье В.К. Аркадьева [85]. Однако полученные по двум методам значения магнитной проницаемости ферромагнетиков не совпадали друг с другом.

Таким образом, работая в лаборатории П.Н. Лебедева, В.К. Аркадьев начал изучать поведение ферромагнитных веществ в высокочастотных полях и обнаружил уменьшение магнитной проницаемости железа и никеля в области сантиметровых волн. Он также наблюдал явление избирательного (резонансного) поглощения энергии переменного поля в ферромагнетиках. Впоследствии оно получило название ферромагнитного резонанса.

В архивах РАН удалось найти письмо В.К. Аркадьева Л.Д. Ландау (полный его текст приведен в Приложении 5), в котором он просит защитить свой приоритет в открытии ферромагнитного резонанса [76]. Проблема возникла после того, как в 1950 г. была опубликована статья в журнале *Physical Review* с упоминанием того, что ферромагнитный резонанс был обнаружен Дж. Гриффитсом в 1946 г. Однако еще в 1913 г. В.К. Аркадьевым был определен «собственный период и затухание носителей

магнетизма в разных образцах железной и никелевой проволоки» [Там же].

Анализируя результаты экспериментальных исследований, В.К. Аркадьев пришел к двум важным выводам [275]. Во-первых, параметры ферромагнитного вещества, в частности, магнитная проницаемость, зависят от частоты внешнего магнитного поля. Во-вторых, для учета явления гистерезиса он ввел в уравнения Максвелла дополнительный параметр — магнитную проводимость вещества ρ . При этом они приобрели симметричный вид в отношении электрических и магнитных полей:

$$\operatorname{rot}\vec{H} = \frac{\varepsilon}{c} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + 4\pi\sigma\vec{E}; \operatorname{rot}\vec{E} = \frac{\mu}{c} \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} + 4\pi\rho\vec{H}.$$

Для гармонических процессов, происходящих с периодом T , удобно ввести понятие комплексной электрической проницаемости:

$$\varepsilon = \varepsilon' - j\varepsilon''; \varepsilon'' = 2\sigma T; j = \sqrt{-1}.$$

Аналогично ей В.К. Аркадьев ввел комплексную магнитную проницаемость:

$$\mu = \mu' - j\mu''; \mu'' = 2\rho T.$$

Среда, характеризуемая четырьмя параметрами (ε , μ , σ , ρ), была названа им «бикомплексной». Решая уравнения Максвелла для случая преломления и поглощения электромагнитных волн в веществе, В.К. Аркадьев установил, что коэффициент поглощения среды является функцией «проницаемости по поглощению»:

$$\mu_k = \sqrt{\mu'^2 + 4\rho^2 T^2} + 2\rho T.$$

При этом коэффициент преломления зависит от «проницаемости по преломлению» следующим образом:

$$\mu_n = \sqrt{\mu'^2 + 4\rho^2 T^2} - 2\rho T.$$

Эти проницаемости отличаются друг от друга в тех областях спектра электромагнитных волн, где магнитная проводимость отлична от нуля. Тем самым, В.К. Аркадьев смог объяснить расхождение числовых значений магнитной проницаемости ферромагнетика, измеренной им двумя методами. Результаты своих работ он опубликовал в 1913 г. в статье [88].

Используя представления о бикомплексной среде, В.К. Аркадьев разработал теорию магнитной дисперсии свойств вещества. Он показал, что изучение магнитной дисперсии (подобно оптической дисперсии) перспективно для определения физических величин, характеризующих свойства молекул. Применение своей теории к изучению

свойств вещества В.К. Аркадьев назвал «магнитной спектроскопией». Благодаря освоению СВЧ-диапазона, появлению новых магнитных материалов (ферритов) и развитию радиофизических методов она стала широко использоваться для спектроскопии не только молекул и атомов, но и атомных ядер. В результате зародилось новое направление радиофизики — радиоспектроскопия, в становление которой основополагающий вклад внесла Казанская школа магнитной спектроскопии.

Обнаруженное В.К. Аркадьевым расхождение значений магнитной проницаемости ферромагнетика обусловлено сложностью процессов перемагничивания (или намагничивания) ферромагнетиков в быстропеременных полях. Именно поэтому необходимо вводить целый ряд проницаемостей, определяющих эти процессы в различных условиях. Одна из последних таблиц, составленных В.К. Аркадьевым, содержала свыше 70 различных магнитных проницаемостей.

Объясняя исчезновение ферромагнитных свойств вещества в высокочастотных полях конечной скоростью намагничивания, В.К. Аркадьев ввел представление о «магнитной вязкости» вещества. Свою теорию намагничивания в переменных полях В.К. Аркадьев назвал «магнетодинамикой» и считал ее развитием теории электромагнитного поля Дж.К. Максвелла.

С началом Первой мировой войны деятельность В.К. Аркадьева была направлена на решение задач ПВХО. На курсах им. Тихомирова исследования в этой области проводились в организованной им физико-химической лаборатории, входящей в систему Земгора и Земсоюза (общественные организации того времени). В этой лаборатории под руководством В.К. Аркадьева работали А.И. Данилевский, Г.С. Ландсберг, М.В. Вильборг, В.С. Титов, З.В. Волкова, Е.Ф. Кудинова. К основным результатам, полученным в лаборатории, можно отнести разработку теории развития газового облака, методики исследования противогазов и др. Свои научные, технические и методические работы В.К. Аркадьев и его сотрудники публиковали в сборниках «Известия Физико-химической лаборатории Земгора — Земсоюза».

В.К. Аркадьев также разработал курс «Классные приемы преподавания физики», который читал до 1918 г. (до закрытия курсов им. Тихомирова), а также — курс «Научно-технические основы газовой борьбы». Его слушателями были студенты МВТУ, проходившие химическую подготовку для работы на фронте, а также офицеры Московского и Петроградских военных округов. К этому курсу была изготовлена

коллекция оригинальных демонстрационных приборов. Соответствующие комплекты распределялись по различным городам России, где по учебной программе и методике В.К. Аркадьева осуществлялась подготовка инструкторов по ПВХО, и проводилось обучение среднего командного состава русской армии.

С 1919 г. В.К. Аркадьев преподавал на педагогических курсах Моссовета, военно-химических курсах РККА, в Академии социального воспитания. В том же году он женился на преподавательнице МВЖК А.А. Глаголевой (о ее научной деятельности будет рассказано ниже). В 1920–1926 гг. В.К. Аркадьев занимал кафедру физики в Институте народного хозяйства им. Г.В. Плеханова, а с 1923 по 1931 гг. — возглавлял магнитометрический отдел ГЭЭИ (впоследствии ВЭИ).

После Октябрьской революции, когда университет им. А.Л. Шанявского был объединен с Московским университетом, В.К. Аркадьев в 1919 г. организовал в МГУ Московскую магнитную лабораторию¹⁰ (в ее рамках и происходило формирование его научной школы). Для этого в физическом институте МГУ ему было предоставлено небольшое помещение (всего две комнаты). Начав свою деятельность в составе нескольких человек, штат лаборатории постепенно расширялся за счет привлечения новых сотрудников и заочного обучения преподавателей СССР.

В 1931 г. она была переименована в лабораторию электромагнетизма им. Дж.К. Максвелла (в дальнейшем мы будем ее называть лабораторией электромагнетизма), а в 1933 г. — присоединена к НИИФ МГУ [83; 81]. В 1933–1935 гг. лаборатория электромагнетизма входила в состав биофизического объединения МГУ вместе с лабораторией экологии В.В. Алпатова (Научно-исследовательский институт зоологии МГУ). При этом велись комплексные исследования на стыке физики и биологии. Например, был проведен ряд заседаний по вопросам математической теории борьбы за существование, митогенетических лучей и взаимодействия радиации с живым веществом, а также выполнены работы по влиянию ультрафиолетового излучения на

¹⁰ «Московская Магнитная Лаборатория образовалась из сообщества лиц, тесно спаянных научными интересами, научной работой и общей потребностью в инструментальных, литературных и материальных средствах для своих научных исследований. В отличие от всех прочих научных обществ и кружков, этот физический кружок ставит себе более узкую задачу и на ней сосредоточивает силы: его цель — широкая разработка определенной научной области, именно вопросов электромагнетизма, в частности магнитной спектроскопии» [83. С. 1].

живые организмы и по теории популяции.

Хотя с момента своего возникновения лаборатория электромагнетизма не входила организационно в состав физического института МГУ, она размещалась в его здании. Ее научная деятельность была связана с преподавательской работой, которой занимались сотрудники на физико-математическом факультете МГУ. В 1923 г. при кафедре физики физико-математического факультета МГУ В.К. Аркадьеву удалось организовать практическую специальность «Электрические измерения». Тем самым, был реализован предложенный им проект организации практических специальностей на физических факультетах РСФСР (1920 г.). Кроме того, параллельно с проведением научно-исследовательских работ в МГУ В.К. Аркадьев читал лекции по теоретической физике.

Научная деятельность лаборатории электромагнетизма была тесно связана с развитием и применением теории электромагнитного поля Дж.К. Максвелла. Работы охватывали два основных направления: 1) разработка методов получения электромагнитных волн разных частот; 2) приложение теоретических положений теории Максвелла к исследованию электромагнитных процессов в веществе. Приведем список и характеристики некоторых работ (их названия приводятся в соответствии с обзором В.К. Аркадьева [100]), выполненных сотрудниками этой лаборатории.

- Исследования по скорости размагничивания и скин-эффекту (Б.А. Введенский, Р.В. Телеснин, А.Н. Тихонов). Их описание приведены в статьях [127; 125] и сборнике [410].

- Работы по обобщению спектральных законов поведения вещества в разных частотах (В.К. Аркадьев). О них можно прочитать, например, в статьях [82; 84].

С развитием теории электромагнитного поля в веществе в лаборатории электромагнетизма была создана «общая теория пассивных спектров». Ее наиболее интересный результат — применение методики спектрального анализа к изучению магнетизма тел. При этом методы математического анализа оптических спектров поглощения были применены к изучению процессов намагничивания, особенно намагничивания технических магнитных материалов. В 1931 г. на основе уравнений теории пассивных спектров были получены, как частные случаи, дисперсия диэлектриков по Дебаю и магнитные спектры вязкости.

- Обнаружены новые полосы в магнитном спектре железа, которые расширяют представления о собственных колебаниях частиц вещества (Б.А. Введенский и К.Ф.

Теодорчик). Результаты работы были опубликованы в журналах «Телеграфия и телефония без проводов» и «Annalen der Physik» (1922 г.).

- Исследования магнитных свойств железа в быстро меняющихся магнитных полях (Н.Н. Малов). С результатами этой работы можно познакомиться в статье [327].
- Теоретические исследования по ферромагнитным кристаллам (Н.С. Акулов). О них можно прочесть в книге «Ферромагнетизм» (1939 г.) [8].
- Методика химической фиксации герцевых лучей на бумаге, аналогичная фотографированию (В.К. Аркадьев). Ее описание приведено в статье [89].

В 1930-х гг. В.К. Аркадьев разработал электромагнитный аналог фотографии, названный им «стиктографией». В этом методе использовалось большое количество когереров, которые были размещены на бумаге, смоченной электролитом. К краям бумажного листа подводилось постоянное напряжение. Попадая в переменное электромагнитное поле, когереры увеличивали свою проводимость, и вблизи их концов происходило окрашивание бумаги продуктами электролиза. В результате на бумаге формировалось семейство точек, позволявших оценить структуру исследуемого поля.

Впоследствии на основе этого метода была создана «искровая стиктография», которая предполагала использование металлических опилок. Они насыпались на фотопластинку, вносимую в поле. При его достаточной интенсивности между опилками проскакивали искры, засвечивающие пластинку. Тем самым, можно было изучать распределение поля на поверхности пластинки. Отметим, что в США эта методика была освоена только в 1947 г.

- Разработка массового излучателя, с помощью которого были получены «ультрагерцевы» электромагнитные волны (А.А. Глаголева-Аркадьева). К наиболее важным статьям, посвященным этим вопросам, относятся [162; 163; 546].

В начале 1920-х гг. по предложению В.К. Аркадьева в лаборатории электромагнетизма была выполнена работа, завершившая искания П.Н. Лебедева. В 1890-х гг. никак не удавалось получить электромагнитные волны меньше $\lambda = 6$ мм (П.Н. Лебедев, 1895 г.) с помощью электрических методов возбуждения колебаний, а оптическим путем не удавалось исследовать инфракрасное излучение с длиной волны, превышающей $\lambda = 0,35$ мм (Г. Рубенс, 1896 г.)¹¹.

¹¹ На одном из научных съездов, когда П.Н. Лебедев здоровался с Г. Рубенсом, один из присутствующих пожелал им «протянуть друг другу руки также и в электромагнитном

Для доказательства единой природы электромагнитных и световых было важно заполнить существовавший тогда пробел в спектре электромагнитных волн. Как отметил декан физического факультета, директор НИИФ МГУ С.Т. Конобеевский, «честь уничтожения этого “белого пятна” на шкале электромагнитных волн принадлежит русским физикам в лице школы Аркадьева» [479. С. 61].



**А.А. Глаголева-Аркадьева
в лаборатории электромагнетизма
(1923 г.)**

Экспериментальные трудности генерации ультракоротких электромагнитных волн были связаны с тем, что излучатели (вибраторы Герца) должны были иметь очень малые размеры, они легко обгорали в процессе разряда и давали ничтожную мощность излучения. Интенсивность длинноволнового излучения молекул также была весьма мала и недоступна измерению.

Для устранения указанных трудностей В.К. Аркадьев предложил создать генератор («массовый излучатель») со сменными вибраторами — металлическими опилками, взвешенными в вязком масле. Эта идея была реализована его супругой, профессором Московского университета, Александрой Андреевной Глаголевой-Аркадьевой (1884–1945) в 1922 г.

В массовом излучателе в качестве колеблющихся систем использовались мелкие металлические (латунные или алюминиевые) опилки, взвешенные в непроводящей жидкости, откуда они непрерывно извлекались вращающимся колесом. Непрерывная смена опилок под электродами, питающими излучатель, исключала их обгорание. Хаотичное расположение опилок способствовало генерации излучения, охватывавшего непрерывный интервал частот. Наконец, большое число опилок, одновременно участвующих в разряде, обеспечивало повышение мощности излучения.

Измерение длин волн проводилось следующим образом [164]. В фокусе параболического зеркала P_1 (рис. 1) размещалась излучающая часть массового излучателя V . Лучи, отразившись от зеркала P_1 , распространялись параллельным пучком и падали на два плоских зеркала S_1 и S_2 .

спектре» [326. С. 464]. Но ни П.Н. Лебедеву, ни Г. Рубенсу не было суждено дожить до реализации этого пожелания.

После отражения от них лучи падали на второе параболическое зеркало P_2 , собиравшее их в фокусе, где был помещен термоэлемент T . Соединяя термоэлемент с гальванометром, можно обнаружить энергию излучения. Если зеркала S_1 и S_2 находятся в одной плоскости, то обе части пучка лучей, отраженных от них, приходят к термоэлементу в одной фазе.

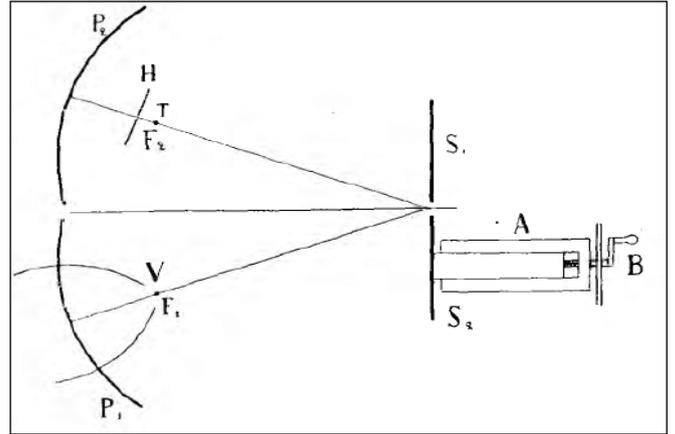


Рис. 1. Схема интерференционного метода

При смещении одного из зеркал, например S_1 , одна половина пучка лучей будет приходить к термоэлементу уже в другой фазе относительно второй половины пучка лучей. Вследствие этого происходит интерференция лучей. Если по оси абсцисс отложить смещения подвижного зеркала S_1 , а по оси ординат — соответствующие им отклонения гальванометра, то можно получить интерференционную кривую энергии излучения.

Расстояния между соседними максимумами равны половине длины волны. Детальное исследование работы массового излучателя показало, что он позволяет получить электромагнитные волны длиной от 50 мм до 82 микрон¹².

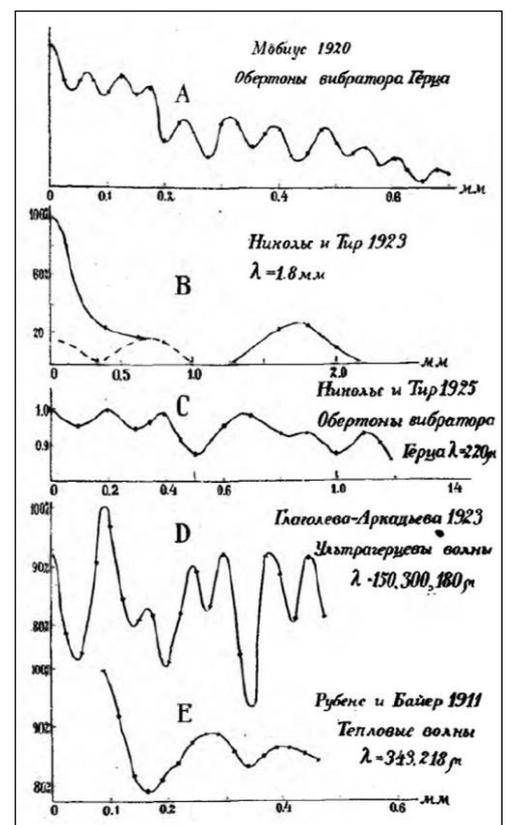


Рис. 2. Интерференционные кривые

На рис. 2 (приведены интерференционные кривые, построенные различными исследователями в промежуточной области (от волн Герца к инфракрасным лучам) электромагнитного спектра.

В 1922 г. А.А. Глаголева-Аркадьева сделала доклад о массовом излучателе на съезде Российской ассоциации физиков в Н. Новгороде, а в 1924 г. в журнале «Nature»

¹² По современной классификации эти волны охватывают дальнюю область ИК спектра и часть СВЧ диапазона.

была опубликована статья об этом изобретении [546]. А.А. Глаголева-Аркадьева исследовала распределение излучаемой мощности на поверхности вибрационной массы массового излучателя, а в 1928 г. — спектральный состав излучения в разных ее точках.

В 1932–1933 гг., используя метод ступенчатой решетки, она выделила из смешанного излучения массового излучателя электромагнитные волны длиной от 9,9 мм до 350 микрон. В 1937 г. на основе метода скрещенных решеток Герца А.А. Глаголева-Аркадьева разработала метод сетчатых фильтров, позволявший выделять из излучения полосы определенной ширины.

Совместно со своими сотрудниками в последние 10 лет своей жизни она изучала механизм работы массового излучателя и разработала теорию, описывающую принцип его действия. При этом А.А. Глаголева-Аркадьева установила, что в излучении массового излучателя имеются три основных волны: одна волна обусловлена колебаниями в отдельных зернах (как в шаре вибратора О. Лоджа), другая волна — колебаниями пары зерен (как в вибраторах А. Риги и П.Н. Лебедева), а третья волна — зависит от конструкции прибора и возникает вследствие колебаний в цепочках частиц, образующихся в вибрационной массе при проскакивании искр.

После заполнения промежутка и получения непрерывного электромагнитного спектра А.А. Глаголева-Аркадьева, воспользовавшись идеей П.Н. Лебедева о размещении электромагнитных волн на логарифмической шкале, предложила единую шкалу электромагнитных волн (1926 г.). Она была поделена на 8 областей: низкочастотные волны, радиоволны, ультра-радиоволны, ИК лучи, световые лучи, УФ лучи, рентгеновские лучи, гамма лучи.

- Создание теории скин-эффекта в различных телах (В.К. Аркадьев). Ее основы приведены в работе [80]. 1943 г. на ее основе он предложил идею устройства — компрессора магнитного потока для получения сверхсильных магнитных полей. Впоследствии он использовался в исследованиях плазмы.

Из других исследований В.К. Аркадьева в области электромагнетизма, наиболее интересны работы по наблюдению шума при перемагничивании, а также эффектный опыт с «парящим магнитом». В.К. Аркадьев поместил в жидкий гелий свинцовую пластину и положил на нее небольшой магнит. Возникшие в сверхпроводящей пластине токи были так велики, что благодаря электромагнитному взаимодействию с ними, магнит после нескольких движений вверх и вниз повис над пластиной. Фотография

этого эксперимента получила известность под названием «гроб Магомета». Результат этого опыта можно объяснить в рамках эффекта Мейсснера — Оксенфельда.

- Работы, имеющие промышленное значение.

К ним можно отнести: исследования по замене меди железом (А.А. Ермолаев, Е.И. Кондорский, Б.А. Садиков, И.В. Антик), по спектральным электромагнитным свойствам трансформаторной жести (О.И. Белецкая), создание Б.А. Введенским теории намагничивания в переменном поле цилиндра и пластинки (используется для расчета проницаемости и потерь мощности в трансформаторах), разработку методов контроля изделий из диэлектриков и др.

За 20-летний период своей деятельности (1919–1939 гг.) сотрудники лаборатории электромагнетизма опубликовали свыше 200 работ в советских и зарубежных журналах. Наибольшую известность приобрели исследования по ультрагерцевым волнам и магнитным спектрам, описывающие аномалии в намагничивании железа переменными полями разных частот.

Результаты научной деятельности лаборатории электромагнетизма по вопросам получения и распространения электромагнитных волн в металлах были систематизированы и опубликованы в труде В.К. Аркадьева «Электромагнитные процессы в металлах» [90; 91]. В нем приведены практические способы расчета различных случаев прохождения электрического тока через металлы и их намагничивания в постоянном и переменном полях. Методы, разработанные В.К. Аркадьевым и его учениками, нашли применение в радиотехнике, электротехнике и других прикладных дисциплинах. Кроме того, в 1961 г. были опубликованы избранные труды В.К. Аркадьева [87], содержащие описание его основополагающих работ. Их обзор также представлен в сборниках, указанных в начале этого параграфа.

Нельзя не отметить просветительскую деятельность лаборатории электромагнетизма. По ее инициативе было организовано несколько публичных заседаний: в 1932 г. — посвященное 100-летию со дня рождения Дж.К. Максвелла, в 1934 г. — полету в стратосферу (с докладом стратонавта, полковника Г.А. Прокофьева). В 1939 г. совместно с физическим факультетом МГУ было проведено заседание, приуроченное к 50-летию открытия Г. Герцем электромагнитных волн. Указанные заседания имели большой успех, они собирали до 300–400 посетителей.

К несомненной заслуге В.К. Аркадьева необходимо отнести редактирование и

организацию публикации сборника «50 лет волн Герца» [2], содержащего перевод на русский язык основных трудов Г. Герца.

В 1935 г. В.К. Аркадьевым был поднят вопрос о создании при группе технической физики АН СССР Комиссии по магнитным и проводниковым материалам. Она начала функционировать с 1936 г. В рамках этой Комиссии В.К. Аркадьев собирал московские и всесоюзные совещания по магнетизму. Впоследствии эти функции приняла на себя организованная В.К. Аркадьевым Магнитная лаборатория секции электросвязи ОТН АН СССР. Доклады, прочитанные на очередных и расширенных заседаниях Комиссии, печатались в 1938–1946 гг. в сборниках, выходящих под его редакцией: «Проблемы электротехнического металла» [410], «Практические проблемы электромагнетизма» [407], «Проблемы ферромагнетизма и магнетодинамики» [409] и др.

По инициативе В.К. Аркадьева в 1941 г. была проведена первая конференция по теории магнетизма, работа которой была прервана в связи с началом Великой отечественной войны. Летом 1942 г., будучи в эвакуации в Казани, В.К. Аркадьев, несмотря на плохое состояние здоровья, организовал лабораторию. В ней он выполнял работы по изучению ультракоротких волн и их применению в военном деле. В.К. Аркадьева не стало 1 декабря 1953 г.

Становление научной школы. Рассмотрим ключевые факторы, оказавшие влияние на формирование научной школы В.К. Аркадьева.

Во-первых, В.К. Аркадьев — один из представителей научной школы П.Н. Лебедева, ставший преемником его работ по генерации сантиметровых и миллиметровых электромагнитных волн и изучению их свойств. Благодаря П.Н. Лебедеву, В.К. Аркадьев выбрал тему своего исследования — изучение магнитных свойств ферромагнетиков в сантиметровом диапазоне волн, ставшей одной из главных в его научной биографии. При этом он получал ценные советы от своего учителя и перенимал опыт экспериментирования с ультракороткими электромагнитными волнами.

В.К. Аркадьев, как и П.Н. Лебедев, был сторонником теории электромагнитного поля Дж.К. Максвелла. Именно поэтому деятельность основанной им лаборатории электромагнетизма была тесно связана с развитием этой теории, ее расширением (с учетом введения понятия о бикомплексной среде) и применением к ферромагнитным металлам. Кроме того, магнитный коллоквиум В.К. Аркадьева был организован по образу и подобию физического коллоквиума П.Н. Лебедева — первого в России

еженедельного семинара по проблемам физики.

В.К. Аркадьев является также продолжателем работ А.Г. Столетова в области магнетизма, впервые построившего график зависимости магнитной проницаемости ферромагнетика от напряженности переменного магнитного поля (кривая намагничивания Столетова). Отметим, что, в отличие от школ в области инженерной радиотехники И.Г. Фреймана, М.В. Шулейкина и А.Л. Минца, в научной школе В.К. Аркадьева проводились преимущественно фундаментальные (теоретические) работы.

Во-вторых, как уже упоминалось, талант экспериментатора проявился у В.К. Аркадьева еще при обучении во Второй московской гимназии. Он смог развить его, посещая публичные лекции по физике в МГУ и проводя демонстрации физических явлений¹³. В.К. Аркадьев в своей автобиографии писал, «...старый Московский Университет... дал много для развития моего вкуса к изящному экспериментированию и к красивой постановке демонстрационных опытов. От него я получил много физических знаний» [75. Л. 7].

Работы В.К. Аркадьева по изучению свойств ферромагнитных веществ, помещенных в высокочастотные поля, были подтверждены в более поздние годы, когда методы генерирования и исследования сантиметровых и миллиметровых волн существенно улучшились. Конечно, имея сейчас надежные стабилизаторы напряжения, мощные генераторы незатухающих колебаний, качественную детектирующую и усиливающую аппаратуру, трудно объективно оценить те экспериментальные трудности, с которыми столкнулся в то время В.К. Аркадьев. Ему приходилось работать с затухающими колебаниями ничтожной мощности, без качественных детекторов и термоэлементов. В этой связи следует отметить высокое экспериментальное мастерство В.К. Аркадьева, сумевшего преодолеть ряд технических сложностей.

Работая со своими студентами, В.К. Аркадьев всегда стремился к экспериментальной проверке теоретических положений и внедрению научных достижений в практику. Такая научная атмосфера способствовало тому, что большая часть исследований его учеников имела практический уклон, а результаты некоторые из

¹³ Благодаря содействию одного из своих преподавателей в гимназии, состоявшего одновременно ассистентом Н.А. Умова, В.К. Аркадьев получил возможность проверять действие некоторых своих приборов в лаборатории Физического института Московского университета.

них находили применение в промышленности.

В-третьих, расцвет научной школы В.К. Аркадьева пришелся на годы его работы в лаборатории электромагнетизма. Тем не менее, первые ученики появились у него еще в университете им. А.Л. Шанявского. Именно там под руководством В.К. Аркадьева первые научные работы выполнили Б.А. Введенский, Н.В. Баклин, Б.А. Миленц. Впоследствии они стали сотрудниками лаборатории электромагнетизма. Таким образом, организационной основой научной школы В.К. Аркадьева был университет. Рассмотренные выше научные школы в области инженерной радиотехники, в основном, базировались в стенах НИИ.

В-четвертых, в 1920-х гг. в нашей стране обмен научной периодикой с иностранными специалистами еще не был налажен. Несмотря на это, В.К. Аркадьеву удалось установить контакты и обмениваться оттисками научных работ с ведущими европейскими учеными (П. Эренфестом, В. Кауфманом, П. Вейссом, Г. Баркгаузенем и др.). Это позволило сотрудникам лаборатории получать сведения о последних научных достижениях и печатать рефераты о проведенных исследованиях в зарубежных журналах (например, в немецких изданиях «Physikalische Berichte», «Annalen der Physik»; Описание массового излучателя А.А. Глаголевой-Аркадьевой было опубликовано в журнале «Nature»). Уровень научных достижений лаборатории электромагнетизма непрерывно рос и ее стали посещать (часто по своей инициативе) иностранные ученые (об этом будет рассказано ниже). Таким образом, благодаря установлению связей с зарубежными физиками научный кругозор сотрудников лаборатории постоянно расширялся.

В-пятых, лаборатория электромагнетизма была тесно связана с АН СССР, благодаря которой она получала возможность проводить ряд исследований и привлекать специалистов для экспериментальной работы и для широкого обсуждения интересовавших лабораторию вопросов.

Исследовательская программа научной школы. Тематика исследований В.К. Аркадьева была весьма разнообразной. Его научные работы были посвящены магнитной спектроскопии, теории магнитной дисперсии, изучению сверхсильных магнитных полей, теории скин-эффекта, дифракции света, конструированию различных устройств и методов (импульсного генератора высокого напряжения, метода стиктографии и др.), проблемам ПВХО и решению электротехнических задач.

Вместе с тем к ведущему направлению научной деятельности В.К. Аркадьева и его учеников следует отнести **изучение электромагнитных процессов в веществе с точки зрения теории электромагнитного поля Дж.К. Максвелла и ее расширение на область ферромагнитных металлов**. При этом можно выделить два направления, по которым развивалась данная исследовательская программа:

1) рассмотрение электромагнитных процессов в металлах (теория скин-эффекта, введение бикомплексной среды, понятия «магнитная вязкость», теория пассивных спектров, магнитная спектроскопия);

2) генерация и исследование электромагнитных колебаний и волн (стиктография, искровая стиктография, разработка массового излучателя и теории его действия).

Исследовательская программа научной школы В.К. Аркадьева претерпевала изменения в связи с возникающими задачами в области электромагнетизма. Эту эволюцию можно проследить по описанию результатов научной деятельности и публикациям В.К. Аркадьева.

Стиль руководства в научной школе. В.К. Аркадьев уделял значительное внимание воспитанию научных кадров. В разное время он работал в различных учебных учреждениях. В лаборатории электромагнетизма В.К. Аркадьев смог развернуть масштабные исследования, к которым он активно привлекал молодых специалистов.

Эффективность научной деятельности лаборатории электромагнетизма обусловлена определенным стилем руководства, атмосферой, установлению связей с МГУ и зарубежными учеными и другими факторами. Обсудим их более подробно.

- «Магнитный коллоквиум» — коммуникативное ядро научной школы В.К. Аркадьева.

В созданной В.К. Аркадьевым лаборатории электромагнетизма его многочисленные ученики проводили систематические исследования электромагнитных явлений. Для обсуждения текущих работ лаборатории, а также актуальных научных проблем В.К. Аркадьевым был организован магнитный коллоквиум (он начал работать с 1921 г.) [275; 83; 81]. На его заседаниях докладывались результаты, полученные сотрудниками и аспирантами лаборатории, обсуждались научные публикации иностранных ученых. Выступление на коллоквиуме В.К. Аркадьева было показателем высокой квалификации докладчика. Тем самым, магнитный коллоквиум стал настоящей школой для начинающих ученых-физиков. Всего было проведено более 300 заседаний,

на них выступали как русские, так и приезжавшие в Москву иностранные ученые.

Заседания коллоквиума проходили в большой аудитории физического института МГУ. На многих из них рассматривались и специальные вопросы (например, о подводной акустике, об абсолютно черном теле для электрических волн). Как правило, таким заседаниям придавался характер конференций, на которых принимали участие и иногородние физики. На некоторых заседаниях коллоквиума обсуждались вопросы терминологии. Так, по итогам дискуссий были введены в научный оборот такие термины, как «магнитная спектроскопия», «ультрагерцевы волны».

Практически все заседания коллоквиума проходили под председательством В.К. Аркадьева. Обязанности секретарей исполняли в разное время А.А. Леонтьева, Н.А. Никитин, К.А. Волкова и М.М. Четверикова. На открытых заседаниях коллоквиума с сообщениями выступали В.К. Аркадьев, М.А. Бонч-Бруевич, А.Ф. Иоффе, П.П. Лазарев, В.К. Фредерикс и др.

- Связь лаборатории электромагнетизма с университетским преподаванием.

Укажем на еще одну важную особенность, характеризующую научную деятельность лаборатории. Она состояла в том, что ее представители были также и преподавателями МГУ. В 1923 г. по инициативе В.К. Аркадьева они организовали на физико-математическом факультете практическую специальность «Электрические измерения». Для освоения этой специальности было необходимо организовать чтение новых курсов, выполнение практических занятий и дипломных работ. В результате эти административные задачи были успешно решены, а план физического цикла обучения пополнился новыми предметами: электрометрия, теория переменных токов, гармонический анализ, электромагнитные процессы в материи, электротехническое материаловедение, рентгентехника, электротехнический практикум и др.

В 1924 г. в физическом институте МГУ была открыта «Электроизмерительная лаборатория». В ее рамках преподаватели знакомили студентов с научными результатами лаборатории электромагнетизма, благодаря чему они получали необходимую подготовку к научно-исследовательской работе в этой лаборатории после окончания обучения. В то же время лаборатория приобретала новых высококвалифицированных сотрудников. В 1939 г. на базе лаборатории электромагнетизма была образована кафедра «Теоретические основы электротехники», входящая в состав физического факультета МГУ. Ее заведующим стал В.К. Аркадьев.

- Проведение заочного обучения преподавателей высших и высших технических учебных заведений СССР.

С 1935 г. лаборатория электромагнетизма стала одной из первых проводить заочное повышение квалификации преподавателей из разных городов СССР. Эта подготовка происходила следующим образом. Путем переписки лаборатория предлагала темы преподавателям и руководила их научно-исследовательскими работами. После установления контактов и года работы у себя в вузе, преподаватель приезжал в лабораторию электромагнетизма. Он выступал на магнитном коллоквиуме с докладом о результатах выполненного им исследования. В таком ключе провели свои исследования Ф.Ф. Панасенков в Ярославле, А.Ф. Маталин в Горьком, И.М. Кирко в Риге и др. Некоторые из этих работ были защищены как диссертационные исследования.

Подобное взаимодействие носило обоюдно выгодный характер. С одной стороны, под заочным руководством членов лаборатории многие преподаватели смогли повысить свою научно-техническую квалификацию, а с другой стороны, — решались кадровые проблемы лаборатории, так как в ее составе было небольшое число штатных единиц.

- Организации, возникшие на основе лаборатории электромагнетизма.

Лаборатория сыграла важную роль в открытии новых научных организаций. В 1923 г. был сформирован магнитометрический отдел ГЭЭИ. Для этого были выделены сотрудники лаборатории электромагнетизма: Б.А. Введенский, В.С. Волков, К.Ф. Теодорчик и М.М. Четверикова под руководством В.К. Аркадьева. В 1927 г. была открыта физическая лаборатория при ГИФО при участии студентов-«электроизмерителей» Л.М. Певзнер, Э.Ш. Лившица и Э.Г. Чернявской.

В 1925 г. А.А. Глаголевой-Аркадьевой при участии студентов, обучающихся по специальности «Электрические измерения» МГУ — М.С. Арефьева, А.А. Добровольской, П.С. Кудрявцева, С.И. Надененко, Н.Н. Малова и Е.П. Островского была организована кафедра физики Рабочего университета при 2-ом МГУ. В 1930 г. была создана лаборатория в НИИС Наркомсвязи (выделены Н.С. Акулов и сотрудники, окончившие МГУ по специальности «Электрические измерения», А.А. Добровольская и В.М. Гойтанников, В.М. Алямовский и Б.А. Мартынов).

В 1931 г. из лаборатории электромагнетизма выделилась магнитная лаборатория НИИФ МГУ. Ее заведующим стал Н.С. Акулов, в качестве сотрудников были привлечены «электроизмерители»: Е.И. Кондорский, И.В. Антик и др. В 1934 г. А.А.

Глаголева-Аркадьева организовала при руководимой ей кафедре физики 2-ого Медицинского института исследовательскую лабораторию по исследованию ультрагерцевых волн и стереорентгенограмметрии. Кроме того, при участии лаборатории электромагнетизма были сформированы магнитная лаборатория ОТН АН СССР и «магнитные ячейки» на заводах и при вузах ряда городов СССР. Таким образом, сотрудники лаборатории электромагнетизма под руководством В.К. Аркадьева оказывались не только в роли исследователей, но и организаторов науки.

- Сотрудничество лаборатории электромагнетизма с отечественными и иностранными учеными-физиками.

Как уже отмечалось, лаборатория поддерживала связи с зарубежными научными учреждениями и отдельными учеными. Ее посещали Г. Арко и А. Мейсснер из Берлина (1923 г.), П. Эренфест и М. Кромелин из Лейдена (1924 г.). В 1925 г. в лабораторию с визитом приезжали М. Планк из Берлина, Ч. Раман из Калькутты, К. Фаянс из Мюнхена, в 1926 г. — П.Л. Капица из Кембриджа и Д. Франк из Геттингена и др. На рис. 16п приведена фотография участников 160-го заседания магнитного коллоквиума, состоявшееся совместно с германскими учеными 16 декабря 1926 г.

В 1927 г. два члена лаборатории электромагнетизма получили приглашение поработать в Кенигсбергском университете у Р. Ганса. Для этого Прусским Министерством народного просвещения были отпущены необходимые средства. В 1928 г. возможность стажировки в Кенигсбергском университете была предоставлена также лицам, работающим и в других лабораториях физического института МГУ.

Лаборатория электромагнетизма поддерживала связь с отечественными физиками и научными организациями. Так, в 1922 г. на съезде Российской ассоциации физиков в Н. Новгороде сотрудниками лаборатории было сделано девять докладов о результатах проведенных работ. Съездом была принята резолюция, в которой было отмечено, что «результаты, полученные в Магнитной Лаборатории, настолько ценны и многочисленны, как это признается и за границей, что съезд считает крайне необходимым обеспечение этой лаборатории достаточными средствами, соответствующими важности ее задач и успешности ее работы, организации ее в качестве самостоятельного государственного учреждения». В 1924 г. лаборатория электромагнетизма вошла в состав Российской ассоциации физиков.

Воспитывая молодежь, В.К. Аркадьев настоятельно рекомендовал изучать

классические сочинения по физике, указывая на глубину, богатство мыслей и ясность изложения, присущую классикам науки. Как учитель он был заботлив и в то же время очень требователен. «Подобно академику Павлову, говорившему, что наука требует всего человека, В.К., отдавая всего себя науке, требовал от учеников дисциплины, большого труда, твердости, характера при неизбежных экспериментальных трудностях. Даваемые им задания были всегда трудными, но выполнимыми» [326. С. 466].

Отметим также педагогическую деятельность А.А. Глаголевой-Аркадьевой [78]. Она воспитала много педагогов, врачей-рентгенологов и научных работников. После Октябрьской революции А.А. Глаголева-Аркадьева продолжала работать на кафедре физики 2-го Медицинского института, а с 1918 г. — начала работать на физико-математическом факультете МГУ. В 1930 г. она возглавила кафедру физики 2-го Медицинского института.

А.А. Глаголева-Аркадьева начинала работать на физико-математическом факультете МГУ после 1917 г. в должности ассистента кафедры физики. В 1924–1929 гг. она читала курсы «Рентгеновские измерения», «Рентгентехника» и организовала к ним практикум. В конце 1920-х гг. А.А. Глаголева-Аркадьева участвовала в создании кафедры рентгеноструктурного анализа (впоследствии — кафедра физики твердого тела). С 1930 г. она читала первый курс общей физики для естественных факультетов Московского университета — сначала на биологическом, затем и на биолого-почвенном и географическом факультетах. Современники отмечали ее педагогический талант, яркое и увлекательное чтение лекций, которые пользовались большим успехом у студентов. Через 2 года А.А. Глаголева-Аркадьева самостоятельно организовала кафедру общей физики для биолого-почвенных и других факультетов. Впоследствии она стала профессором и заведующей этой кафедрой. А.А. Глаголева-Аркадьева была первой русской женщиной-физиком, получившей мировую известность в научном сообществе, и стала одной из первых женщин, которые получили право занимать преподавательские должности в МГУ.

Представители научной школы. За время своего существования лаборатория электромагнетизма подготовила более 100 высококвалифицированных физиков, из них более 40 человек начали свою научную деятельность в лаборатории выполнением самостоятельного научного исследования [77]. На рис. 17п представлена таблица, в которой указаны сотрудники, творческий путь которых начался в лаборатории

электромагнетизма.

Не без влияния В.К. Аркадьева проходила и деятельность кафедры магнетизма физического факультета, на которой работали и защитили докторские диссертации Е.И. Кондорский, Р.В. Телеснин, К.П. Белов, Г.П. Дьяков, К.М. Поливанов, Л.В. Киренский.

Приведем список некоторых сотрудников и учеников В.К. Аркадьева и кратко охарактеризуем полученные ими результаты.

- Б.А. Введенский — академик АН СССР, доктор физико-математических наук, профессор, специалист в области теории и практики распространения УКВ (о его научной школе будет рассказано в следующем параграфе).

- Н.С. Акулов — действительный член Белорусской академии наук, специалист в области ферромагнетизма, организатор магнитной лаборатории при МГУ и первой в стране кафедры магнетизма, где были заложены основы общей теории кривой намагничивания моно- и поликристаллов (им основана белорусская школа физики неразрушающего контроля). Н.С. Акулов сформулировал закон магнитной анизотропии (1928 г.), играющий большую роль в современной теории магнитных материалов, в 1934 г. независимо от Ф. Биттера — предложил метод магнитной металлографии и экспериментально доказал существование областей спонтанного намагничивания ферромагнетиков. Н.С. Акулов создал аппаратуру по неразрушающим методам контроля промышленной продукции — дефектоскопы, магнитный анизометр, магнитный микрометр и др.

- И.М. Кирко — академик и директор института физики АН Латвийской ССР, доктор физико-математических наук, один из создателей академической науки в Латвии, руководитель научной школы в области магнитной гидродинамики. Его исследования лежат в области магнетизма, электродинамики, электро- и магнитной гидродинамики, гидродинамики жидких металлов. И.М. Кирко занимался созданием накопителей энергии, озонаторов, МГД-насосов. Полученные им результаты нашли приложения при создании МГД-насоса для одного из первых проектов атомных реакторов на искусственном спутнике Земли.

- К.Ф. Теодорчик — доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой колебаний/теории колебаний (1939–1956 гг.) физического факультета МГУ, один из создателей научной школы, разрабатывающей проблемы колебаний в нелинейных и линейных системах различной физической природы. К.Ф.

Теодорчик выполнил исследования колебательных явлений в различных электрических, акустических, термомеханических системах, а также в диэлектриках и ферромагнетиках.

- Н.Н. Малов — доктор физико-математических наук, профессор, специалист в области физики и техники СВЧ-колебаний. С его именем связано становление научной школы КОЭФ МПГУ. С 1958 по 1969 гг. Н.Н. Малов был руководителем ПРФЛ. Научная деятельность радиофизической школы МПГУ подробно рассмотрена в Приложении 7.

- А.А. Глаголева-Аркадьева — доктор физико-математических наук, профессор Московского университета, основатель и заведующая кафедрой общей физики для естественных факультетов МГУ, изобретатель рентгеностереометра и нового источника электромагнитных волн — массового излучателя, с помощью которого она получила наиболее короткие радиоволны с длиной, равной длине тепловых (инфракрасных) волн.

- Е.И. Кондорский — доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой общей физики для естественных факультетов МГУ, создатель теории микромагнетизма. В период с 1939 по 1953 гг. под его руководством на кафедре велись экспериментальные и теоретические исследования процессов намагничивания и магнитного гистерезиса ферромагнетиков, а также ферромагнитного резонанса. В 1954 г. Е.И. Кондорский возглавил кафедру магнетизма. Он создал теорию коэрцитивной силы и намагничивания, развил теорию аномального эффекта Холла. В 1984 г. вместе с коллегами он был удостоен Государственной премии СССР за цикл работ «Магнетизм и электронная структура редкоземельных и урановых соединений». Под руководством Е.И. Кондорского было защищено более 16 докторских и около 40 кандидатских диссертаций.

- В.И. Гапонов — доктор физико-математических наук, профессор, известный специалист в области радиоэлектроники и техники СВЧ-приборов, один из организаторов радиофизического факультета ГГУ, заведующий кафедрой радиофизического факультета электроники ГГУ. В.И. Гапонов — автор фундаментального двухтомного труда «Электроника», который был опубликован в 1960 г. и получил признание в стране и за рубежом, как одно из лучших руководств по радиоэлектронике. В.И. Гапонов — муж М.Т. Греховой (директора НИРФИ), вместе они воспитали двух сыновей, академиков РАН — А.В. Гапонова-Грехова и С.В. Гапонова.

- Р.В. Телеснин — доктор физико-математических наук, профессор, заведующий Проблемной лабораторией микроэлектроники МГУ. Его исследования посвящены

физики динамических процессов в магнитных материалах, изучению магнитной вязкости ферромагнитных металлов и сплавов, процессов перемагничивания ферритов.

В 1930 г. в МГУ произошла реорганизация — факультеты университета были преобразованы в отделения, при этом на базе физико-механического факультета были созданы механическое, физическое и астрономо-математическое отделения. В 1931 г. на физическом отделении появляется первая в СССР кафедра магнетизма. Ее руководителем по рекомендации В.К. Аркадьева был назначен Н.С. Акулов. Вместе с ним на кафедре с момента ее основания работали Е.И. Кондорский, Н.Л. Брюхатов, К.П. Белов, Д.И. Волков, М.А. Грабовский и др. Когда в 1933 г. в университете восстановилась факультетская система, кафедра магнетизма вошла в состав физического факультета. В настоящее время ее возглавляет профессор Н.С. Перов [235].

Результаты научной школы. Лаборатория электромагнетизма выполнила исследования в области магнитной спектроскопии, по приложению теории электромагнитного поля Дж.К. Максвелла к ферромагнитным металлам, получению и исследованию ультракоротких электромагнитных волн. В утверждении электромагнитной природы света и заполнения существовавшего пробела в электромагнитном спектре ключевую роль сыграли исследования А.А. Глаголевой-Аркадьевой. В совокупности эти работы оказали значительное влияние на признание и расширение теории Максвелла. Кроме того, исследования в области магнитной спектроскопии привели, в конечном счете, к появлению радиоспектроскопии — одного из магистральных радиофизических направлений.

Деятельность научной школы В.К. Аркадьева была всегда практико-ориентированной, ее научные разработки находили практическое применение (создание различных устройств, метода ступенчатой решетки, стиктографии). Более того, сотрудники лаборатории выполнили актуальные для промышленности работы: исследования по замене меди железом, изучению спектральных электромагнитных свойств трансформаторной жести, магнитного спектра трансформаторной стали и др.

Наряду с выдающимися научными результатами лаборатории электромагнетизма принадлежит особая роль в организации научных учреждений и повышении квалификации преподавателей из разных городов России. По ее инициативе была открыта практическая специальность «Электрические измерения» на физико-математическом факультете МГУ, в рамках которой велась подготовка

высококвалифицированных ученых и инженеров-электротехников. В дальнейшем она происходила на кафедре «Теоретические основы электротехники».

Важно отметить инновационный опыт взаимодействия преподавателей МГУ (сотрудников лаборатории) со студентами. Уже на студенческой скамье будущие физики знакомились с научными работами, проводимыми в лаборатории электромагнетизма. Наиболее же заинтересованные студенты проходили обучение в электроизмерительной лаборатории, а затем продолжали свою научную карьеру в лаборатории электромагнетизма.

Лаборатория внесла значительный вклад в развитие системы отечественного образования. И это, несмотря на относительно небольшой период ее деятельности (20 лет), отсутствие штатных кадров (в течение 14 лет ее работы), недостаток материальной базы и скудное финансирование. Но благодаря личностным и профессиональным качествам В.К. Аркадьева молодые специалисты на добровольных началах и безвозмездной основе пополняли ряды лаборатории электромагнетизма. Она стала прародительницей кафедры магнетизма МГУ, активно функционирующей в настоящее время. В знак научных заслуг В.К. Аркадьева в 2000 г. была выпущена российская марка, на которой изображен его портрет и осциллограмма ферромагнитного резонанса.

Таблица 3, заполненная применительно к научной школе В.К. Аркадьева, приведена в Приложении 4 (таблица 4п).

§ 3.6. Б.А. Введенский и научная школа по исследованию распространения УКВ

«Борис Алексеевич является ... одним из наиболее выдающихся у нас в Союзе специалистов по научной радиотехнике, особенно в области физики и техники УКВ, специально по вопросам их распространения»

[479. С. 231, 232]

В.Л. Левшин

Источники литературы. К библиографическим материалам, посвященным научной деятельности Б.А. Введенского и его школы, следует отнести:

- издание «Борис Алексеевич Введенский. Материалы к библиографии ученых СССР» (серия «Физики») [115], в котором приведены основные даты жизни и хронология научных достижений Б.А. Введенского, а также его научная биография,

составленная А.Г. Аренбергом;

- автобиографию Б.А. Введенского, текст его выступления на торжественном заседании коллектива сотрудников ИРЭ АН СССР, посвященном 70-летию со дня рождения Б.А. Введенского, отзыв В.Л. Левшина о его научной деятельности [479. С. 229–237];

- книгу «Творцы российской радиотехники. Жизнь и вклад в мировую науку» [461], в которой представлены очерки о жизни крупных отечественных ученых-радиотехниках (в том числе, Б.А. Введенского);

- сборник статей «Воспоминания об академике Б.А. Введенском (к 100-летию со дня рождения)» [154];

- книгу «Распространение ультракоротких радиоволн. К восьмидесятилетию со дня рождения академика Б.А. Введенского» [129], в которой собраны его основные научные статьи в этой области и приведена библиография его трудов;

- информационные ресурсы АРАН, электронной библиотеки «Научное наследие России», сайта <http://radiolamp.net/> (рубрика «История электроники и радио»), содержащие научно-биографические сведения о Б.А. Введенском;

- фонд 1652 АРАН, в который включены рукописи статей, лекций и докладов Б.А. Введенского, авторские свидетельства и патенты, отзывы о научных работах его сотрудников, биографические документы, письма, фотопортреты и групповые фотографии Б.А. Введенского, фотоснимки приборов и испытательных станций и др.;

- статьи Н.А. Арманда и А.В. Кессениха «Борис Алексеевич Введенский — физик, радиоинженер, энциклопедист, человек» [92] и «О работах академика Б.А. Введенского по распространению радиоволн» [93];

- статью «Чествование академика Б.А. Введенского» [516] и др.

Направление радиофизики. На начальном этапе развития радиотехники считалось, что радиоволны, как и световые волны, распространяются в пространстве прямолинейно. Однако после передачи в 1901 г. первого радиосообщения через Атлантический океан на расстояние свыше 3000 км существовавшие представления о распространении радиоволн необходимо было пересмотреть. В результате экспериментальных исследований было установлено, что радиоволны (особенно в длинноволновом диапазоне) обладают способностью огибать земной шар. Именно поэтому для установления надежной радиосвязи на дальних расстояниях широко

использовались длинные радиоволны ($\lambda = 10^3-10^4$ м). Хотя еще в 1902 г. О. Хевисайд и А. Кеннели высказали идею о возможности распространения радиоволн на большие расстояния путем их отражения от верхних проводящих слоев атмосферы.

Лишь в 1920-е гг. в связи с появлением электронных ламп и практическим освоением коротковолнового диапазона вопросы распространения радиоволн стали привлекать к себе все большее внимание исследователей. В ходе экспериментальных и теоретических работ ряда отечественных и зарубежных ученых (Б. Ван-дер-Поль, Т.Л. Эккерслей, М.В. Шулейкин, А.Н. Щукин, М.А. Бонч-Бруевич и др.) были получены важные данные о физической структуре ионосферы и о закономерностях прохождения в ней радиоволн различной длины. Эти исследования позволили определять значения напряженностей поля при работе на коротких волнах.

Кроме того, стало возможным составлять прогнозы прохождения тех или иных волн на трассе, необходимые для выбора рабочих частот. В ходе экспериментов было установлено, что на распространение радиоволн большое влияние оказывает диэлектрическая проницаемость и электропроводность почвы (или поверхности морской воды), шарообразная форма Земли, неровности ее поверхности и ионизация верхних слоев атмосферы. Важно также учитывать, что ионосфера не является стабильной средой. Ее ионизация зависит от солнечной радиации, которая меняется в зависимости от времени года и суток, а также от активности Солнца. В свою очередь, от степени ионизации зависит и выбор рабочей длины волны, на которой будет осуществляться радиосвязь.

Для радиоволн свойственны такие явления, как дифракция и рефракция. Если радиопередача осуществляется на расстояние в несколько тысяч километров, то характер распространения так называемых пространственных волн определяется рефракцией. Она происходит в верхних слоях атмосферы, ионизированных солнечным излучением. Характер распространения поверхностных волн (на короткие расстояния) в основном обусловлен дифракцией. При распространении же радиоволн на средние расстояния имеет место одновременное действие дифракции и рефракции. Благодаря этим явлениям радиоволны распространяются примерно вдоль поверхности Земли, что обеспечивает огибание ими земного шара.

Актуальность освоения УКВ была связана с различными факторами. Во-первых, с необходимостью глубокого изучения законов распространения радиоволн вблизи

поверхности Земли и в различных слоях атмосферы. Во-вторых, в УКВ диапазоне могут работать множество радиостанций без взаимных помех. В-третьих, УКВ можно направлять узким пучком (с помощью малогабаритных антенн), что позволяет их применять в радиорелейной связи, радиолокации и радионавигации.

Но, как отмечал, Б.А. Введенский, «будущее УКВ было еще в полной мгле; многие считали, что и вообще тут никакого будущего нет, ибо и тогда уже, так сказать “начерно”, было ясно, что УКВ ионосферой (слоем Хев-К-ли) не направляются, и, следовательно, для дальних связей не годятся. Ведь долго УКВ вообще не считали принадлежащими к радиотехнике. Их настоящие достоинства еще предстояло открыть и освоить» [479. С. 235–236].

Прежде всего, было необходимо определить зависимость напряженности поля УКВ в пунктах приема от электрических и геометрических параметров, а также выяснить оптимальные условия радиопередачи в этом диапазоне. Выявление этих зависимостей связано с количественной оценкой влияния электрических свойств земной поверхности, неровностей этой поверхности, кривизны Земли, электрических свойств нижних слоев атмосферы и других факторов, влияющих на распространение УКВ. Основополагающий вклад в разрешение этих вопросов, создание и развитие теории распространения УКВ, устройств, работающих в этом диапазоне, и внедрение их в практику, внес Б.А. Введенский и его научная школа.

Научная биография руководителя научной школы. Борис Алексеевич Введенский (1893–1969) — академик АН СССР, доктор физико-математических наук, профессор, ученый-радиофизик, выполнивший фундаментальные работы в области генерации и приема УКВ. Он родился 7 (19) апреля 1893 г. в Москве. В 1911 г. Б.А. Введенский окончил одну из Московских гимназий и поступил на физико-математический факультет Московского университета.



Б.А. Введенский

С 1912 г. он начал работать в физической лаборатории В.К. Аркадьева в университете им. А.Л. Шанявского, а с 1913 г. — в физической лаборатории под руководством Н.Н. Андреева в Московском университете. В 1915 г. после окончания обучения в университете Б.А. Введенский был принят на работу в качестве лаборанта на фабрику военно-полевых телефонов в Москве. На ней он проработал до 1919 г. в

должности заведующего измерительной лабораторией.

Под руководством Б.А. Введенского была разработана методика контроля выпускаемых телефонных аппаратов, налажено производство бумажных конденсаторов и постоянных магнитов. Выполненные им производственные работы оказали значительное влияние на формирование молодого исследователя, стимулировали его интерес к техническим изобретениям.

Первые научные работы Б.А. Введенского были выполнены под руководством В.К. Аркадьева. Они были посвящены дифракции света, различным вопросам в области магнетизма и теории вихревых токов. В 1916 г. Б.А. Введенский прочитал свой первый научный доклад в Физическом обществе им. П.Н. Лебедева на тему «Сталь для постоянных магнитов». Б.А. Введенский изучал магнитные свойства сталей, применяемых для изготовления постоянных магнитов, скорость размагничивания в железе и вихревые токи в тонких железных проволоках, магнитную проницаемость железа при радиочастотах. Результаты данных работ были опубликованы в его статьях [130; 131], некоторые из них упоминались в § 3.5. Квинтэссенцией научного творчества Б.А. Введенского в области магнетизма стал фундаментальный труд «Современное учение о магнетизме» (1929 г.) [143], написанный им совместно с Г.С. Ландсбергом. Эта книга содержала наиболее полное и систематическое изложение вопросов, связанных с магнитными явлениями.

В 1919–1923 гг. Б.А. Введенский работал в ВРТЛ ГВИУ, которой руководил М.В. Шулейкин. Именно он заинтересовал Б.А. Введенского проблемой распространения радиоволн¹⁴. Его первая работа в этой области была связана с изучением коротких волн (с длиной волны несколько десятков метров). Кроме того, в ВРТЛ Б.А. Введенский участвовал в определении дальности действия длинноволновых радиостанций в Москве (Ходынка и Шаболовка). С этой целью он в 1920 г. проводил измерения напряженности поля коротких радиоволн, излучаемых Московской дуговой радиостанцией. Измерительная аппаратура была установлена на подвижном железнодорожном

¹⁴ Их научный контакт сохранился и после того, как Б.А. Введенский перестал работать в должности руководителя лаборатории УКВ ВЭИ. В архивах РАН находится письмо М.В. Шулейкина к Б.А. Введенскому с просьбой прислать статьи (в том числе, и его учеников) для первого номера журнала «Радиотехника»: «... Прошу Вас сагитировать Вашу молодежь, чтобы она тоже дала бы материал для этого номера» [48. Л. 1].

приемном пункте (проще говоря, в теплушке) на трассе «Москва — Харьков».

Как отмечал Б.А. Введенский в своей автобиографии, «... удалось, промеряя напряженность поля методом параллельных омов, добраться (месяца за два) до самого Харькова. С той точностью, которой удавалось добиться, измеренные поля удовлетворительно укладывались на популярную тогда, но также требовавшую проверки, формулу Остина¹⁵» [479. С. 234]. После окончания экспедиции Б.А. Введенский опубликовал статью [126].

К другому кругу вопросов научной деятельности Б.А. Введенского относятся его исследования (совместно с С.Н. Ржевкиным¹⁶) по изучению явлений, происходящих в ламповом генераторе при возникновении самопроизвольной прерывистой генерации. В 1921 г. ими была разработана теория прерывистой генерации, опубликованная в статье [146]. В 1924 г. Б.А. Введенским была опубликована книга «Физические явления в катодных лампах» [132], ставшая одной из первых отечественных работ, посвященных радиоэлектронике. В ней были приведены физические объяснения процессов в электронных лампах. Эта книга выдержала четыре издания. Отметим, что Б.А. Введенским была разработана теория двухтактных схем, которые применялись тогда для генерации и приема метровых радиоволн.

Рассмотрим основополагающие работы, выполненные Б.А. Введенским и его учениками, в области УКВ. В 1922 г. в ВРТЛ им совместно с А.И. Данилевским была осуществлена радиотелефонная передача (на длине волны $\lambda = 3,8$ м с горизонтальной поляризацией) на расстояние в несколько десятков метров. В качестве генератора радиоволн использовалась двухтактная схема, построенная на лампах. Прием осуществлялся на кристаллический детектор с последующим усилением. Во время этих опытов было обнаружено весьма резкое ослабление приема с увеличением расстояния, а также отражение радиоволн от стен здания, сопровождаемое интерференционными и дифракционными явлениями.

В конце 1923 г. Б.А. Введенский был приглашен на работу в ВЭИ (тогда еще ГЭЭИ), в котором он проработал до 1932 г. сначала в магнитометрическом отделе

¹⁵ Формулу Остина используют для определения напряженности поля на расстояниях от 1000 км до 16000–18000 км.

¹⁶ Сергей Николаевич Ржевкин — доктор физико-математических наук, профессор, основатель и заведующий кафедрой акустики физического факультета МГУ.

(1923–1927 гг.), затем в радиоотделе (1927–1932 гг.), причем последние два года (1931–1932 гг.) — заместителем заведующего отделом. В 1925 г. опыты по генерации УКВ были продолжены в радиоотделе ВЭИ, где под руководством Б.А. Введенского была создана новая измерительная аппаратура (рис. 18п): двухтактный передатчик модулированного излучения, регенеративный приемник с кристаллическим детектором и усилителем низкой частоты со вторым детектором. С этой аппаратурой удалось осуществить радиотелефонную связь на расстоянии до 250 м. В этих опытах помимо Б.А. Введенского принимали участие Ю.П. Симанов и Б.В. Халезов. В 1926 г. к работам подключились А.Г. Аренберг, ставший на многие годы ближайшим соратником Б.А. Введенского, а также С.Я. Турлыгин, М.И. Пономарев (МВТУ) и Н.А. Петров (ЛПИ).

В ГЭЭИ Б.А. Введенский организовал лабораторию УКВ, которая функционировала в 1930–1935-х гг. Здесь вместе со своими сотрудниками он изучал вопросы генерирования и приема сверхбыстрых электромагнитных колебаний, процессы распространения и приема УКВ, разрабатывал антенны для их излучения. Отметим, что в ГЭЭИ были предприняты первые попытки установления количественных законов распространения УКВ в различных условиях. Эти работы проводились в 1927–1928 гг. Б.А. Введенским при участии А.Г. Аренберга и А.В. Астафьева [141].

Для этой цели была создана достаточно совершенная по тем временам приемопередающая аппаратура, работающая на длине волны $\lambda = 4$ м. Для проведения исследований в 1928 г. на радиополе ВЭИ в Ново-Гирееве (на расстоянии 8,5 км от ВЭИ) была построена 10-метровая четырехэтажная деревянная вышка. Передатчик с горизонтальным вибратором поочередно располагался на различных ее этажах. Радиоприем велся на сверхрегенеративный приемник, а измерения проводились с помощью метода «параллельных омов». В результате исследований были установлены следующие факты:

- быстрое убывание напряженности поля УКВ с увеличением расстояния;
- характер распространения УКВ в области прямой видимости обусловлен интерференцией прямых и отраженных от земной поверхности волн;
- напряженность поля метровых волн при их распространении вдоль поверхности Земли обратно пропорциональна примерно второй степени расстояния, а не первой, как это имело место для более длинных волн при тех же расстояниях.

На основании проведенных экспериментов и обобщении их результатов, Б.А. Введенским в 1928 г. была выведена формула (так называемая «квадратичная формула» или «формула Введенского»), позволяющая рассчитать действующее значение напряженности поля УКВ вертикального вибратора при относительно малых высотах передающей и приемной антенн.

При этом расстояние между ними должно быть таким, чтобы без большой погрешности можно было бы пренебречь кривизной земной поверхности и считать Землю плоской. «Квадратичную формулу» можно представить в виде:

$$E_{\text{д}} = \frac{2,18\sqrt{PD}h_1h_2}{\lambda r^2},$$

где $E_{\text{д}}$ — действующее значение напряженности поля в месте приема радиоволн; P — мощность, излучаемая антенной; D — коэффициент направленного действия антенны (по сравнению с ненаправленным излучателем); h_1 и h_2 — высоты передающей и приемной антенн; r — расстояние вдоль земной поверхности (протяженность радиолинии); λ — длина рабочей волны.

Таким образом, действующее значение напряженности поля в случае передачи УКВ убывает обратно пропорционально квадрату расстояния между передающей и приемной антеннами (если они подняты на высоту, малую по сравнению с дальностью передачи), и возрастает прямо пропорционально высотам поднятия передающей и приемной антенн. Отметим, что случай горизонтального вибратора отличается только добавлением в формулу Введенского множителя $\sin\varphi$ (φ — угол между осью горизонтального вибратора и направлением на приемник).

Причина быстрого убывания напряженности поля УКВ с расстоянием обусловлена интерференцией двух волн — прямой и отраженной от поверхности Земли¹⁷. При низком расположении передающей и приемной антенн пути, проходимые этими волн, примерно одинаковы. При отражении волны от земной поверхности, происходит изменение ее фазы почти на 180° . Поэтому интерференция прямой и отраженной волн приводит к очень слабому приему вблизи поверхности Земли. С поднятием антенн разность хода этих волн возрастает и вследствие этого изменение

¹⁷ Идея об интерференции прямой и отраженной от поверхности Земли волн была впервые предложена Т. Эккерслеем. Несомненно, работы этого ученого оказали заметное влияние на исследования Б.А. Введенского по распространению УКВ.

фазы, вызванное отражением от поверхности Земли, начинает компенсироваться. В результате напряженность поля УКВ в точке приема увеличивается.

Квадратичную формулу используют при расчете дальности радиосвязи на УКВ для случая низко расположенных антенн, радиолокационного обнаружения кораблей и низколетящих самолетов. Если одна из антенн расположена на земной поверхности (т. е. h_1 или h_2 равна нулю), то напряженность поля равна нулю, что не соответствует действительности. В этом случае формула Введенского неприменима. Важно отметить, что в иностранной литературе эта формула появилась лишь в 1933 г., т. е. спустя пять лет после ее опубликования в СССР¹⁸.

Квадратичная формула была подтверждена многочисленными опытами, проведенными при различных высотах приемной и передающей антенн и расстояниях между ними. Они были выполнены в лаборатории УКВ Б.А. Введенским, А.В. Астафьевым и А.Г. Аренбергом (потом к работам присоединились Ю.Н. Шеин, А.Р. Вольперт, В.А. Кузовкин, Е.Н. Майзельс). Экспериментальные исследования производились на расстояниях между антеннами до 60 км, высотах поднятия аппаратуры до 1,5 км. А.В. Астафьев и А.Г. Аренберг провели серию измерений, совершив полеты на аэростатах. При этом изучалось влияние характера местности, всевозможных препятствий на поверхности Земли, метеорологических факторов на распространение УКВ, разрабатывались переносные УКВ станции. Результаты этих работ были опубликованы в статье [140]. Полученные данные полностью подтвердили квадратичную формулу. Отметим, что в это время появился и сам термин УКВ.

Под руководством Б.А. Введенского и содействии А.Д. Фортушенко была построена первая радиовещательная станция на УКВ (РВ-61). В 1931 г. с ее помощью велась регулярная передача на длине волны $\lambda = 5,8$ м. Она обеспечивала уверенный прием УКВ на сверхрегенеративный приемник на расстояниях 20–30 км от Москвы. Кроме того, проводились опыты по местному вещанию на метровых волнах в Крапивенском районе Московской области, изучалось распространение УКВ в туннелях, а также была сконструирована и выпущена партия УКВ-приемников. Результаты этих работ описаны в монографии «Распространение ультракоротких волн», опубликованной в 1934 г. Б.А. Введенским совместно с А.Г. Аренбергом.

¹⁸ В 1933 г. данную формулу получили Б. Тревор и П. Картер, а также И. Скиллинг, С. Берроуз и Э. Феррель.

В 1931 г. в ВЭИ М.Т. Греховой и В.М. Бовшером были поставлены опыты по распространению дециметровых волн с $\lambda = 33$ см и $\lambda = 80$ см. Для их генерации использовались как обычные лампы, так и лампы, разработанные М.Т. Греховой. Роль колебательных контуров в них выполняли спиральные сетки, колеблющиеся на собственных длинах волн. Приемник дециметровых волн был собран по сверхрегенеративной схеме. Опыты, проведенные на длине волны $\lambda = 80$ см, подтвердили возможность установления надежной радиосвязи на расстояниях порядка 3 км при поднятии аппаратуры на высоту 1 м над поверхностью Земли и в условиях прямой видимости. Применение различных направляющих систем значительно увеличило дальность радиосвязи. Так, с помощью передающей антенны, выполненной в виде параболоида вращения с фокусным расстоянием 100 см, удалось осуществить телеграфную и телефонную связь на длине волны $\lambda = 33$ см на расстоянии 15 км между Москвой и Люберцами.

После вывода квадратичной формулы Б.А. Введенский приступил к разрешению значительно более сложной проблемы — распространению УКВ за пределами прямой видимости. Интерес к дифракционной теории был связан с тем, что характер распространения УКВ и радиоволн в целях радиовещания (несколько сотен метров) обусловлен именно дифракцией. Но применяемые до этого формулы либо не учитывали реальные электрические свойства почвы, либо учитывали их в приближении, соответствующем $\lambda \sim 1000$ м и более. На рубеже 1920–1930-х гг. большинству радиотехников становится ясно, что горизонт не является пределом дальности распространения УКВ. В 1932 г. Г. Маркони во время экспериментов на Средиземном море обнаружил, что дециметровые волны распространяются далеко за горизонт.

В этом же году ВЭИ для изучения этого вопроса организовала экспедицию на Черное море (рис. 19п). Опыты проводились в диапазоне длин волн от 3,5 м до 6,5 м. Высота горизонтального вибратора над уровнем моря составляла 2,2 м. Приемник УКВ располагался на катере и имел горизонтальный вибратор, поднятый на 1,2 м над уровнем моря. Это соответствовало расстоянию 9,5 км до горизонта.

В ходе опытов было показано, что прием УКВ оказался возможным за горизонтом на расстоянии до 40 км. На основе полученных результатов был сделан вывод о необходимости применения электродинамического подхода к вопросу о дифракции метровых волн. В этом случае решается задача о распространении радиоволн вдоль

плоской Земли, обладающей конечным значением электропроводности. Однако при изучении распространения УКВ на относительно большие расстояния (обычно превышающие расстояние до горизонта или близкие к горизонту) были обнаружены явления, не укладывающиеся в рамки дифракционной теории. Они сводятся к тому, что наблюдаемые значения напряженности поля во много раз превышают расчетные.

В 1933 г. на Черном море была проведена еще одна экспедиция под руководством Б.А. Введенского. В группу исследователей входили М.А. Слиозберг, Е.Н. Майзельс, В.И. Пейсиков, Е.А. Селин, В.Л. Кузовкин и др. В рамках экспедиции была показана возможность распространения дециметровых волн с $\lambda = 60$ см на расстояние примерно 100 км, что в 3–4 раза превышало расстояние до горизонта. Эксперименты проводились с помощью разрезных магнетронов (мощностью порядка 100 Вт), которые в СССР были разработаны А.А. Слуцкиным, М.А. Слиозбергом, В.М. Бовшеровым и другими специалистами в 1932–1933 гг. Для обеспечения необходимой направленности волн использовались зеркала в виде параболических цилиндров, составленных из отдельных вибраторов, а прием осуществлялся на сверхрегенеративный приемник.

С увеличением расстояния прием волн сначала ослабевал, а затем снова возрастал и прекращался лишь на весьма большом расстоянии. Такое явление называют «сверхрефракцией¹⁹». Оно приводит к тому, что при определенных метеорологических условиях происходит значительное искривление траектории распространения УКВ. При этом образуется тропосферный волновод, позволяющий радиоволне распространяться на расстояние, во много раз превышающее расстояние прямой видимости.

Результаты, полученные в ходе экспедиции 1933 г., показали, что дециметровые волны способны распространяться за горизонтом. На этой основе было создано несколько образцов отечественной дециметровой аппаратуры (на магнетронах), применявшейся на практике.

В 1933 г. Б.А. Введенский приступил к разработке теории дифракции УКВ²⁰. В

¹⁹ Сверхрефракция — явление, заключающееся в возникновении вблизи поверхности Земли волноводного канала с аномально высокой дальностью распространения радиоволн.

²⁰ Любопытно, что в научной деятельности Б.А. Введенского определенную роль сыграл и Л.И. Мандельштам. Б.А. Введенский писал: «... Первые, пригодные для расчетов на УКВ результаты были мной доложены в 1933 г., на коллоквиуме Леонида Исааковича Мандельштама, о теплом и благосклонном участии которого к этим моим работам, о его ценных замечаниях я вспоминаю

его монографиях [128; 136] был приведен анализ основных теоретических работ в этой области, а также выполнен расчет дифракции радиоволн вблизи земного шара при конечной проводимости поверхности Земли. Эти книги сыграли значительную роль в развитии теории распространения радиоволн УКВ. Кроме того, в решении весьма сложной в математическом отношении задачи о распространении радиоволн вблизи сферической поверхности Земли значительный вклад внесла работа Б.А. Введенского о дифракционном распространении радиоволн [124].

Задача дифракции радиоволн вокруг гладкой земной поверхности принадлежит к наиболее сложным вопросам математической физики. Первое приближенное решение этой задачи в предположении идеально проводящей поверхности земного шара и для антенн, расположенных непосредственно у поверхности Земли, было получено Г. Ватсоном. Им было показано, что по мере удаления в «глубокую» тень напряженность поля убывает очень быстро (экспоненциально), и тем быстрее, чем короче волны.

Б.А. Введенский, развивая метод Г. Ватсона, получил решение дифракционной задачи для поверхности земного шара при конечной проводимости и приподнятых антеннах. Это позволило применить дифракционную формулу к диапазону УКВ (решение Г. Ватсона для этого случая не пригодно). При изучении распространения радиоволн за линией горизонта Б.А. Введенский использовал асимптотические представления некоторых специальных функций. В итоге он получил дифракционную формулу (1935–1936 гг.), которая хорошо согласовывалась с опытными данными²¹.

Дифракционная формула была положена в основу расчета напряженности поля УКВ за горизонтом. обстоятельное описание дифракции УКВ приведено в монографии Б.А. Введенского и А.Г. Аренберга «Распространение ультракоротких волн», вышедшей в 1938 г. [137] (дополненное издание 1934 г.). Впоследствии Б.А. Введенский опубликовал специальные графики для вычисления поля УКВ [122; 123], которые значительно упростили математические выкладки. Благодаря этому расчеты по дифракционным формулам стали широко использоваться в инженерной практике. Последующие работы зарубежных ученых (Б. Ван-дер-Поля, Г. Бреммера, Т. Эккерслея и др.) способствовали повышению точности выводов, полученных Б.А. Введенским.

с чувством самой глубокой признательности» [479. С. 237].

²¹ Впервые дифракционная формула была опубликована в 1936 г. в статье Б.А. Введенского «О дифракционном распространении радиоволн» [124].

Однако разработанные методы давали решение в виде бесконечных рядов, которые сходились только при достаточно больших расстояниях от передающей антенны (практически за геометрическим горизонтом).

Наиболее полная и строгая теоретическая работа в области дифракционного распространения радиоволн вдоль криволинейной поверхности Земли была выполнена В.А. Фоком в 1943–1945 гг. [480] Она была удостоена Сталинской премии. В.А. Фок объединил в единую теорию случаи плоской и сферической Земли. Для этого он разработал новый подход к расчету напряженности поля вблизи линии горизонта (область «полутени»), применив характеристический параметр:

$$p = \left(\frac{\pi a}{2}\right)^{\frac{1}{3}} \cos \gamma ,$$

где γ — угол между вертикалью в точке наблюдения и направлением на источник радиоволн.

При отрицательных значениях p получается дифракционная формула Г. Ватсона, при положительных значениях p — дифракционная формула для случая плоской Земли, а при $p \approx 1$ — дифракционная формула для области около горизонта.

В результате работ Б.А. Введенского и его коллег интерес к УКВ диапазону увеличивался, количество отечественных специалистов, исследующих особенности распространения радиоволн стремительно возрастало. С начала 1930-х гг. исследованиями в этой области начали заниматься Л.И. Мандельштам, Н.Д. Папалекси, М.Т. Грехова, В.М. Бовшеверов, Б.А. Шиллеров, В.И. Пейсиков, М.Л. Слиозберг, А.Н. Щукин, С.Я. Брауде, Е.Н. Майзельс, Р.И. Перец и др. Под руководством Л.И. Мандельштама и Н.Д. Папалекси были проведены работы по радиоинтерферометрии, Е.Л. Фейнберг выполнил исследования по распространению радиоволн вдоль неоднородных радиотрасс, Л.М. Бреховских — по распространению волн в слоистых средах, А.Н. Щукин и В.Л. Гинзбург — по распространению радиоволн в ионосфере.

В конце 1935 г. Б.А. Введенский и группа его сотрудников были переведены из ВЭИ в НИИ-9, созданный на базе ЛЭФИ. В 1936 г. руководство НИИ-9 приняло решение расширить оборонную тематику института и привлечь к ней дополнительные научно-инженерные кадры. По предложению М.А. Бонч-Бруевича к коллективу института присоединился основной состав лаборатории УКВ ВЭИ во главе с Б.А. Введенским. Вместе с ним в НИИ-9 перешли молодые ученые и инженеры — М.Л.

Слиозберг, Ю.Н. Шеин, Е.А. Селин, Е.Н. Майзельс и др.

До 1940 г. Б.А. Введенский был начальником одной из лабораторий этого института. К этому периоду относятся его работы по дальнейшему изучению дифракционного распространения радиоволн. Но большую часть времени он уделял различной «спецработе». В частности, совместно с А.Г. Аренбергом Б.А. Введенский разрабатывал радиоустройство для обнаружения и навигации самолетов, вместе с А.Б. Слепушкиным он приступил к работе над темой «Способ обнаружения подводных лодок». С 1940 г. Б.А. Введенский работал в качестве заместителя председателя Секции по научной разработке проблем радиотехники АН СССР, а также председателем Научно-технического совета НИИ-20 (бывший «Остехбюро»). В это время он опубликовал важные работы по рефракции УКВ в нижних слоях атмосферы, позволяющие рассчитывать траектории распространения лучей в тропосфере.

С 1941 г. по 1944 г. Б.А. Введенский был руководителем группы радиосвязи и лаборатории по исследованию и распространению УКВ в ФИАН. За годы войны им было выполнено исследование влияния тропосферной рефракции на дифракционное распространение радиоволн.

Группой радиосвязи под руководством Б.А. Введенского были также проведены работы по прогнозам радиосвязи для Генерального штаба Красной Армии, Гидрометеорологического управления Красной Армии, Наркомата связи СССР. Кроме того, по заданию ГВИУ им был разработан один из образцов вооружения (совместно с Г.А. Бартевым).

27 сентября 1943 г. Б.А. Введенский был избран действительным членом АН СССР по ОТН. В 1944 г. он был утвержден председателем Секции электросвязи, которая вскоре была переименована в Секцию по научной разработке проблем радиотехники АН СССР. Сотрудники секции изучали вопросы распространения УКВ в атмосфере и направляющих системах. Б.А. Введенский был бессменным руководителем этой Секции до 1953 г. Под его руководством было выполнено несколько прикладных работ по заданиям оборонных ведомств.

Одновременно Б.А. Введенский вел экспериментальную работу по волноводам в лаборатории ФИАН, был постоянным научным консультантом Главного управления связи Красной Армии, консультантом учреждений Наркомата авиационной промышленности и Наркомата судостроительной промышленности СССР. Отметим, что

в 1946 г. вышла в свет монография «Радиоволноводы» [135], написанная Б.А. Введенским совместно с А.Г. Аренбергом. В ней приведено исчерпывающее теоретическое описание широкого круга вопросов, связанных с волноводами, и рассмотрены соответствующие экспериментальные исследования. Кстати говоря, сам термин «волноводы» на русском языке впервые использовал Б.А. Введенский (до этого использовались такие термины как «радиогиды», «волнопроводы»).

В 1945 г. в связи с 50-летием изобретения радио А.С. Поповым Б.А. Введенский был назначен председателем Комитета по организации мероприятий, приуроченных к этому знаменательному событию. Он провел большую работу по подготовке специальной научной сессии, выступил с рядом публичных лекций, опубликовал научно-популярные доклады и статьи. Кроме того, Б.А. Введенский активно участвовал в создании Всесоюзного научно-технического общества радиотехники и электросвязи им. А.С. Попова (сейчас РНТОРЭС).

В 1944–1951 гг. он работал во ВНИИ-108 (ныне АО «Центральный научно-исследовательский радиотехнический институт имени академика А.И. Берга»), где под его руководством была организована лаборатория № 2 — лаборатория по исследованию распространения УКВ²². Б.А. Введенский был руководителем НИР «Волна» («Теоретическое и экспериментальное изучение распространения радиоволн над сушей»), результаты которой для разных диапазонов длин волн, включая и УКВ, имели большое значение для проектирования радиолокаторов.

Кроме того, он провел ряд фундаментальных исследований, связанных с выяснением влияния тропосферы на распространение УКВ. Еще в 1933 г. Б.А. Введенским было отмечено влияние слоистой неоднородности тропосферы на распространение УКВ. Впоследствии он совместно с А.Г. Аренбергом опубликовал два

²² Приведем фрагмент из воспоминаний Б.А. Введенского. «Я не в силах не упомянуть отдельно с глубокой значительностью тот Институт, в котором я проработал свыше 10 лет, которому я многим обязан, где долгое время был директором Аксель Иванович Берг, ... и к сотрудникам которого — бывшим моим сотоварищам по работе (я вынужден ограничиться упоминанием Павла Александровича Погорелко, Евгения Николаевича Майзельса, Николая Васильевича Осипова, Виктора Сергеевича Школьникова, Б.А. Шиллерова, Леонида Исааковича Брудно; в этой связи не могу не упомянуть Александра Михайловича Кугунева, с которым мы долго работали и в этом институте; я храню теплые чувства» [49. Л. 26].

обзора [138; 133], в которых ими были рассмотрены вопросы о влиянии тропосферы на распространение УКВ. Б.А. Введенским и М.А. Колосовым было установлено, что на процесс распространения УКВ значительное влияние оказывают метеорологические условия. В результате появилось новое научное направление — радиометеорология.

В 1946 г. совместно с М.И. Пономаревым Б.А. Введенским была опубликована статья [144], в которой на основе методов геометрической оптики и модели высотной зависимости диэлектрической проницаемости воздуха рассматриваются различные траектории распространения радиоволн, выводятся формулы для угла рефракции, анализируется понятие эквивалентного радиуса Земли. При этом некоторые исследователи (С. Энглунд, А. Кроуфорд и др.) решили учесть влияние рефракции путем замены радиуса Земли a , входящего в дифракционные формулы эквивалентным радиусом Земли a_e . Он вводится исходя из предположения, что распространение радиоволн происходит в однородной тропосфере по прямолинейным траекториям с постоянной скоростью, но над сферической поверхностью большего радиуса, так, чтобы относительная высота траектории над поверхностью оставалась неизменной.

В 1946–1947 Б.А. Введенский и М.И. Пономарев показали, что с точки зрения геометрической оптики концепция эквивалентного радиуса справедлива только для лучей, сильно «прижатых» к земле, и если расстояние между корреспондирующими пунктами мало. Более строгое решение этого вопроса было дано В.А. Фоком.

В 1948 г. была опубликована книга Б.А. Введенского и А.Г. Аренберга «Вопросы распространения ультракоротких волн» [134]. В ней были систематизированы результаты выполненных исследований, приведены новые сведения в этой области, а также раскрыта роль советских ученых в создание и развитие теории распространения УКВ. Данная книга была рассчитана на широкий круг специалистов.

В конце 1940-х — начале 1950-х гг. Б.А. Введенский и его сотрудники, в связи с освоением диапазона сантиметровых и миллиметровых волн, рассматривали условия их распространения в атмосфере. Интересно, что исследования проводились в различных условиях. Так, изучение поглощения миллиметровых радиоволн в тумане было начато вначале в бане, а затем продолжено на Эльбрусе. Результаты работ в этой области были опубликованы в статье Б.А. Введенского, М.А. Колосова, А.В. Соколова [142].

В 1953 г. Б.А. Введенский был приглашен в ИРЭ АН СССР, где он возглавил программы исследований «Распространение радиоволн в тропосфере» и

«Радиофизические исследования космического пространства». В 1954 г. в этом институте Б.А. Введенский создал отдел распространения радиоволн. В послевоенные годы благодаря развитию радиофизических устройств и методов было обнаружено, что СВЧ сигналы передатчиков часто принимаются далеко за линией горизонта (по крайней мере, за сотни километров). При этом уровень фиксируемых сигналов намного превышает расчетный, следующий из формул, описывающих дифракцию радиоволн при распространении вдоль поверхности Земли. Характерной особенностью наблюдаемого поля были его сильные флуктуации.

В связи с этим Б.А. Введенский исследовал ДТР, рассматривал влияние различных факторов на формирование поля при ДТР. В частности, большое внимание уделялось изучению роли слоистых неоднородностей. Б.А. Введенским и его сотрудниками были получены обширные экспериментальные данные, разработаны методы расчета полей ДТР (до дальности 1000 км) с учетом метеорологических условий, длины волны, рельефа местности и потерь усиления антенн. Итогом работ в данном направлении стал написанный при участии Б.А. Введенского обзор [139]. Последней подготовленной им к изданию книгой стала монография «Распространение радиоволн при космической связи» [276].

Б.А. Введенский принимал участие в развитии радиолюбительства в СССР, читал лекции на радиолюбительских курсах (например, «Юным радиолюбителям», 1945 г.), писал научно-популярные книги и статьи по вопросам радио, материалы по истории развития радиотехники. В последние годы он неоднократно выступал с публичными лекциями для широкой аудитории: «Рождение радио» (1945 г.), «50 лет со дня изобретения радио А.С. Поповым» (1945 г.), «О развитии советской радиотехники и радиофизики» (1947 г.), «Будущее радиотехники» (1958 г.) и др.

Кроме того, Б.А. Введенский в 1951 по 1958 гг. (после смерти С.И. Вавилова) был главным редактором второго издания БСЭ. Колоссальный научно-технический кругозор, высокий уровень эрудиции позволили ему справиться с этой сложной задачей: второе издание БСЭ составили 50 основных томов и один дополнительный том.

Под руководством Б.А. Введенского были проведены подготовительные работы к выпуску третьего издания БСЭ, а также вышли в свет третье издание Малой советской энциклопедии, трехтомный и двухтомный энциклопедические словари, Физический энциклопедический словарь. 1 июня 1969 г. Б.А. Введенский ушел из жизни.

В заключение приведем слова А.И. Берга, как нельзя лучше характеризующие Б.А. Введенского как ученого. «Б.А. принадлежит к тому типу ученых, которые не замыкаются в узком кругу своей специальности, но обладая обширными и многосторонними знаниями во многих областях, широким, в полном смысле слова энциклопедическим кругозором, проявляет глубочайший интерес и заинтересованность в развитии самых различных отраслей науки, в их тесном взаимодействии» [51. Л. 1].

Исследовательская программа научной школы. Тематика исследований Б.А. Введенского охватывала в основном три научных направления: электромагнетизм, дифракция света и распространение УКВ. Его научные работы были посвящены теории вихревых токов, теории скин-эффекта, дифракции света, теории прерывистой генерации, конструированию различных радиотехнических устройств, написанию обзорных статей по распространению УКВ, истории развития радиотехники.

Вместе с тем к ведущему направлению научной деятельности Б.А. Введенского и его учеников следует отнести **теоретическое и экспериментальное изучение особенностей распространения УКВ.** При этом можно выделить два направления, по которым развивалась данная исследовательская программа:

1) теоретическое описание процессов распространения УКВ в области прямой видимости и за горизонтом, ДТР: разработка и обоснование «квадратичной формулы», дифракционной формулы, решение задач в области геометрической оптики, связанных с определением траектории распространения УКВ в тропосфере и влиянием на этот процесс рефракции в атмосфере, создание методов расчета поля при ДТР;

2) экспериментальное подтверждение полученных теоретических результатов и их внедрение в практику: конструирование радиоаппаратуры и проведение с ее помощью опытов по распространению УКВ, создание первой радиовещательной станции на УКВ, построение графиков для расчета дифракционного поля УКВ, исследование влияния метеорологических условий на распространение УКВ, освоение диапазона сантиметровых и миллиметровых волн, выполнение работ, связанных с оборонной тематикой.

Исследовательская программа научной школы Б.А. Введенского претерпевала изменения в связи с решением возникающих задач в области распространения радиоволн (от первых опытов по генерации и приему УКВ до исследования механизмов ДТР). Эту эволюцию можно проследить по описанию результатов научной деятельности

и публикациям Б.А. Введенского.

Становление научной школы. Обсудим факторы, повлиявшие на формирование научной школы Б.А. Введенского. В данном контексте будет уместно привести ряд фрагментов из его автобиографии и воспоминаний.

Во-первых, вопросами радиотехники Б.А. Введенский заинтересовался еще в средней школе. В своей автобиографии он писал: «... В гимназические времена мы с товарищами с собственноручно смастеренными приборами в некотором малом масштабе повторяли опыты Александра Степановича Попова, а позднее — уже в университете — в лаборатории Николая Николаевича Андреева я получил возможность ознакомиться с некоторыми более сложными установками и опытами» [479. С. 234].

В МГУ у Б.А. Введенского появилась возможность изучить работы по радиотехнике В.К. Лебединского, И. Ценнека, А. Риги, Б. Дессау, А.А. Петровского, Д.А. Рожанского. Тем самым, он получил представление о теоретических и экспериментальных основаниях этой научной дисциплины, что позволило ему в дальнейшем вместе с учениками внести существенный вклад в ее развитие.

Во-вторых, работа в радиолaborатории ГВИУ и тесное общение с ее руководителем М.В. Шулейкиным определили направление дальнейшей научной деятельности Б.А. Введенского. По мнению Б.А. Введенского, «интерес к распространению инициирован именно им (М.В. Шулейкиным — *В.В.*), но принял несколько иное направление, сконцентрировавшись на УКВ» [Там же]. Для того чтобы понять, как Б.А. Введенский пришел к изучению УКВ необходимо привести следующий отрывок из его воспоминаний. «... В конце 1921 г. меня заинтересовал вопрос о наиболее коротких волнах, которые можно было получить с имевшимися у нас лампами. Почему я этим занялся? Тут было влияние лебедевской школы (к которой, правда, уже просто по возрасту я не принадлежал), школы, где культивировалось возможно большее укорочение электрически получаемых (я не подберу лучшего короткого определения) волн...» [Там же. С. 234, 235].

Б.А. Введенский посвятил свое научное творчество рассмотрению особенностей генерации, распространения и приема УКВ в силу нескольких обстоятельств. Ранее мы уже говорили о том, что он был учеником М.В. Шулейкина, который занимался решением задачи о распространении радиоволн над плоской Землей (без учета влияния ионосферы). Б.А. Введенский был также сотрудником лаборатории электромагнетизма,

где работал под руководством В.К. Аркадьева. Таким образом, на выбор исследовательской программы Б.А. Введенского оказали влияние М.В. Шулейкин (формирование научно-инженерного подхода к решению проблем радиотехники, изучение распространения радиоволн) и В.К. Аркадьев (проведение экспериментов в области электромагнетизма, стремление к получению более коротких радиоволн).

В-третьих, в 1920-х гг. в нашей стране еще не существовало промышленных предприятий, которые выпускали бы высококачественную радиотехническую аппаратуру. Разумеется, для создания радиосистем, работающих в УКВ диапазоне, требовалось разработать новые генераторы, приемники, линии передачи, антенны, исследовать свойства сред при распространении радиоволн. Такую масштабную задачу было невозможно решить в одиночку, поэтому Б.А. Введенский активно привлекал к исследованиям в области распространения УКВ своих учеников и сотрудников из разных организаций, в которых он работал (лаборатория УКВ ВЭИ, НИИ-9, ЦНИИ-108, ИРЭ АН СССР).

В-четвертых, интерес Б.А. Введенского и его сотрудников к УКВ был обусловлен стремительным развитием радиолокации, телевидения, радионавигации и радиорелейной связи. В данных научно-технических направлениях используются короткие (порядка микросекунды) импульсы. Большая ширина спектра электромагнитных волн, занимаемого такими импульсами, требовала развития соответствующей аппаратуры. При этом естественным образом возникла необходимость выявить условия распространения радиоволн в УКВ диапазоне.

Стиль руководства в научной школе. Педагогическая и научная деятельность Б.А. Введенского в различных научных учреждениях способствовала воспитанию квалифицированных специалистов в области распространения УКВ. Педагогическую деятельность он начал в 1917 г. чтением лекций по физике на фабрике военно-полевых телефонов в Москве. В 1920-х гг. Б.А. Введенский читал курс «Теория электричества» в Военной электротехнической академии, курс физики в Коммунистическом университете им. Я.М. Свердлова, курсы «Теория переменных токов», «Теория поля», «Катодные лампы» в МГУ, Московском лесном институте и других вузах. В 1925–1930 гг. Б.А. Введенский был профессором кафедры электротехники и прикладного электричества в Индустриально-педагогическом институте им. К. Либкнехта, а в 1930–1936 гг. — профессором и действительным членом НИИФ МГУ. В 1932 г. был опубликован курс

лекций Б.А. Введенского «Изучение и распространение электромагнитных волн. Ч. I (Вертикальный диполь)», прочитанного им в МГУ. Он также опубликовал программу курса лекций «Применение катодных ламп в электрометрии» для студентов, обучающихся по специальности «Электрические измерения».

По воспоминаниям учеников и сотрудников отличительной чертой Б.А. Введенского была удивительная способность проникать в самую суть исследуемых явлений, правильно и точно их интерпретировать. Кроме того, он очень ответственно подходил к публикации любых материалов. Б.А. Введенский досконально проверял факты, приведенные в диссертационных работах, которые готовились к защите под его руководством. Исключительная требовательность к представлению результатов оказывала мощную воспитательную функцию. Как вспоминал Н.А. Арманд, «мы, ближайшие сотрудники Бориса Алексеевича, должны были семь раз отмерить перед тем, как представлять тот или иной документ ему на подпись» [92. С. 14].

Несомненно, Б.А. Введенский гармонично сочетал в себе талант блестящего экспериментатора и незаурядного физика-теоретика, прекрасно владеющего математическим аппаратом. Он воспитывал молодых специалистов не только на лекциях или семинарах, но и выполняя с ними совместные научные исследования (например, в лаборатории УКВ ВЭИ). Тем самым, он передавал своим ученикам опыт проведения экспериментов по распространению радиоволн, конструирования радиоаппаратуры, учил критически анализировать получаемые результаты, тщательно их проверять, писать научные статьи и обзоры.

Б.А. Введенский был прост в общении, доброжелателен, внимателен к своим ученикам, щедро делился с ними идеями и планами. Он работал с ними не только в вузе или НИИ, но и в неформальной обстановке — в своей квартире. Как вспоминали ученики Б.А. Введенского, «...часто квартира Бориса Алексеевича превращается в своеобразный научный штаб, где долго по вечерам не гаснут огни и где за стаканом крепкого чая, который так любит Борис Алексеевич, идет продуктивная творческая работа» [461. С. 39].

Представители научной школы. Работая в различных научных учреждениях, Б.А. Введенский всегда окружал себя молодежью, вовлекая ее в круг своих научных интересов. Многие из его учеников и сотрудников стали самостоятельными учеными в области радиофизики. К их числу относятся: А.Г. Аренберг, А.В. Астафьев, А.И.

Данилевский, Ю.П. Симанов, Р.И. Перец, М.И. Пономарев, С.Я. Турлыгин, Н.А. Петров, Ю.Н. Шеин, А.Р. Вольперт, В.А. Кузовкин, Е.Н. Майзельс, М.А. Колосов, А.В. Соколов.

Приведем список некоторых сотрудников и учеников Б.А. Введенского и кратко охарактеризуем полученные ими результаты.

- А.Г. Аренберг — доктор технических наук, профессор, выполнивший пионерские работы в области распространения УКВ. В 1927–1928 гг. он работал вместе с Б.А. Введенским в радиоотделе ГЭЭИ, в котором разрабатывались и испытывались первые переносные УКВ радиостанции. А.Г. Аренберг организовал лабораторию в ИРЭ АН СССР по изучению распространения УКВ, заведовал кафедрой «Антенны и распространение радиоволн» в МФТИ и читал курс «Распространение радиоволн». Совместно с Б.А. Введенским А.Г. Аренберг опубликовал основополагающие монографии по вопросам распространения УКВ.

- Н.А. Арманд — доктор технических наук, профессор, лауреат Государственных премий СССР, заслуженный деятель науки и техники РФ, академик Международной Академии астронавтики, ученый-радиофизик, внесший значительный вклад в исследования распространения радиоволн в атмосферах Земли, Венеры и Марса, в межпланетном пространстве. С 1965 по 2002 гг. он был заместителем директора и возглавлял Фрязинский филиал ИРЭ. Результаты, полученные Н.А. Армандом в области рефракции радиоволн в атмосфере Земли, позволили создать ряд систем для радиолокации низколетящих целей. Под его руководством были осуществлены научные программы по дистанционному зондированию планет из космоса, разработаны эффективные радиометрические методы определения влажности почв и грунтов, подповерхностного зондирования.

- М.А. Колосов — доктор технических наук, профессор, начальник отдела распространения радиоволн в ИРЭ АН СССР, лауреат Государственной премии 1974 г. за исследования распространения радиоволн в дальнем космосе с помощью аппаратов типа «Венера», «Марс», «Луна», соавтор (вместе Н.А. Армандом и О.И. Яковлевым) книги «Распространение радиоволн при космической связи» (1969 г.).

- А.В. Соколов — член-корреспондент Академии инженерных наук РФ, доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник ИРЭ РАН, совместно с Б.А. Введенским он проводил исследования тропосферного распространения метровых, дециметровых и сантиметровых радиоволн, участвовал в написании монографии

«Дальнее тропосферное распространение УКВ» (1965 г.).

- А.Р. Вольперт — сотрудник лаборатории УКВ ВЭИ. Под руководством Б.А. Введенского он выполнил работы, посвященные резонансным явлениям в системе Лехера, и изучил влияние плоскости раздела на диаграммы направленности произвольных антенн (1946 г.).

- Е.Н. Майзельс — кандидат технических наук, один из пионеров освоения 3-см диапазона СВЧ-колебаний, работал во ВНИИ-108 начальником лаборатории антенно-фидерных устройств.

- Р.И. Перец — сотрудник НИИ-20, лауреат Сталинской премии первой степени 1950 г. за разработку в области военной техники (РЛС «Обсерватория»). По поручению Б.А. Введенского он разработал более корректный метод расчета поля УКВ с учетом сферичности Земли. Данные расчеты были использованы при разработке серийных РЛС дальнего обнаружения «Порфир» или «Редут-Д».

- С.Я. Турлыгин — доктор технических наук, профессор, проводил в ГЭЭИ исследования по распространению, генерированию и приему УКВ. В 1924 г. он построил радиопередатчик мощностью 150 Вт, работавший на длине волны $\lambda = 5,5$ м, и осуществил его помощью радиосвязь на расстоянии до 20 км. С.Я. Турлыгин был заведующим кафедрой общей теории связи Московского электротехнического института народной связи. В 1933–1938 гг. по заданию Наркомата обороны СССР он проводил исследования по выяснению физической природы телепатии.

- М.Л. Слиозберг — видный радиоинженер и разработчик, один из активных участников становления и развития радиолокации в СССР. По окончании физико-математического факультета МГУ он работал в лаборатории УКВ ВЭИ, где под руководством Б.А. Введенского приобрел опыт проведения научных исследований и конструирования магнетронных генераторов дециметрового диапазона. После перевода в НИИ-9 М.Л. Слиозберг создал множество оригинальных приборов, начиная с радиоламп и заканчивая РЛС непрерывного излучения для зенитной артиллерии. В 1940 г. он осуществлял научное руководство работами по радиолокации в НИИ-9.

В завершение приведем слова Б.А. Введенского, которые были произнесены им на торжественном собрании, посвященном 70-летию со дня рождения и 50-летию его научной и педагогической деятельности.

«Я очень многим обязан своим учителям, направившим мои первые шаги,

старшим товарищам, передававшим мне свой опыт, сверстникам, с которыми рука об руку я приобретал новые знания, молодежи, которой я передавал свой опыт и которая обогащала в свою очередь меня самого. Коллективы, с которыми я тесно сотрудничал и сотрудничаю — это мои лучшие наставники» [516. С. 167].

Результаты научной школы. Б.А. Введенский был организатором и руководителем научной школы по теоретическому и экспериментальному изучению распространения УКВ. При этом сам ученый стал первопроходцем в области генерации и приема УКВ, установил основные закономерности их распространения, как в зоне прямой видимости (квадратичная формула), так и в области тени (дифракционные формулы), разработал методы расчета поля при ДТР. Результаты, полученные научной школой Б.А. Введенского, легли в основу инженерных расчетов систем УКВ связи, разработки армейской радиосвязи, а также способствовали развитию радиолокации, телевидения и радионавигации. Б.А. Введенскому и его сотрудникам принадлежит ведущая роль в становлении радиометеорологии как науки.

Нельзя не отметить основополагающий вклад Б.А. Введенского в распространение и популяризацию знаний в области электромагнетизма и радиотехники. В 1929 г. совместно с Г.С. Ландсбергом он написал фундаментальный труд «Современное учение о магнетизме», содержащий на то время наиболее полное описание магнитных явлений. В книге Б.А. Введенского «Физические явления в катодных лампах» (1926 г.) была представлена теория, описывающая процессы в электронных лампах.

Результаты исследований в области распространения УКВ были представлены Б.А. Введенским в обзорах и книгах. К ним следует отнести: оригинальное руководство «Основы теории распространения радиоволн», охватывающее все теоретические сведения по распространению радиоволн до 1934 г., опубликованные в соавторстве с А.Г. Аренбергом монографии «Распространение ультракоротких волн» (1934 г, 1938 г.) и «Радиоволноводы» (1946 г.). Каждая из этих книг была одной из первых в мировой литературе и первой в СССР по рассматриваемым в них вопросам. Они широко использовались при обучении специалистов в области радиофизики и радиотехники.

За период своей творческой деятельности Б.А. Введенский опубликовал более 150 научных статей и 10 монографий, посвященных вопросам распространения радиоволн. Эти работы до сих пор изучаются многими отечественными и зарубежными

исследователями. Существенный вклад внесен Б.А. Введенским и в терминологию: он ввел в научный оборот такие термины, как «добротность», «волновод», «атмосферный волновод», «корреспондирующие пункты». Кроме того, Б.А. Введенский был первым редактором и фактически создателем журнала «Радиотехник», а с 1951 г. — главным редактором второго издания БСЭ и ряда других энциклопедических изданий.

В честь ученого названа одна из улиц в Юго-Западном административном округе г. Москвы (на территории района Коньково). Его имя также носит площадь в г. Фрязино. Мемориальная доска Б.А. Введенского установлена на Административном корпусе филиала ИРЭ РАН в г. Фрязино. К 100-летию со дня рождения Б.А. Введенского были учреждены две стипендии его имени: одна — для студентов физического факультета МГУ, обучающихся по специальности «радиофизика», а другая — для слушателей Военной академии связи в Санкт-Петербурге.

Таблица 3, заполненная применительно к научной школе Б.А. Введенского, приведена в Приложении 4 (таблица 5п).

Выводы по главе 3

1. Рассмотрены причины научного и технического отставания дореволюционной России в области радиотехники и внедрения радиосвязи в практику. К ним относятся: отсутствие хорошо оборудованных научно-исследовательских лабораторий и опытно-конструкторских предприятий, незначительные государственные капиталовложения в научные исследования, недостаточная поддержка русскими предпринимателями научных разработок, сильная зависимость радиотехнической промышленности от иностранных инвестиций и др.

2. Несмотря на указанные причины, в дореволюционной России существовали некоторые радиотехнические центры. Их характеристики приведены в таблице 4.

3. В главе приведена история развития научных школ, оказавших значительное влияние на становление отечественной радиотехники. Рассмотрены основополагающие результаты, полученные научными школами И.Г. Фреймана, М.В. Шулейкина, А.Л. Минца, В.К. Аркадьева и Б.А. Введенского (таблица 5).

Благодаря деятельности этих выдающихся ученых и их учеников, были созданы теоретические и практические основы для зарождения в 1930–1940-х гг. такой научной дисциплины как радиофизика.

Формирование первых радиотехнических центров

Название радиотехнического центра	Период деятельности, годы	Научно-технические результаты
Радиотелеграфный завод Морского ведомства	1910–1935	Обеспечение ВМФ радиоаппаратурой отечественного производства, подготовка квалифицированных кадров инженеров-радиотехников
«Русское общество беспроволочных телеграфов и телефонов» (РОБТиТ)	1908–1923	РОБТиТ сыграло важную роль в становлении отечественной радиотехнической промышленности. Оно стало крупнейшим поставщиком средств радиосвязи в дореволюционной России. На его базе была организована ЦРЛ
Российское общество радиоинженеров (РОРИ)	1918–1929	РОРИ принимало активное участие в мероприятиях, связанных с развитием и использованием достижений радиотехники в народном хозяйстве, в конкурсных и экспертных советах, в разработке учебных планов и программ радиотехнических вузов и факультетов. В РОРИ проводились заседания, на которых рассматривались актуальные вопросы радиотехники
Нижегородская радиолaborатория (НРЛ)	1918–1929	НРЛ стала первым в России научно-исследовательским центром, в котором были заложены основы радиосвязи, радиотехники, электроники, радиовещания, отечественной радиоэлектронной промышленности. После ее объединения с Петроградским электровакуумным заводом возникла ЦРЛ
Центральная радиолaborатория (ЦРЛ)	1923–1939	ЦРЛ стала ведущей научно-исследовательской организацией страны в области радиотехники в довоенный период. Она сыграла основополагающую роль в развитии отечественной радиотехники и становлении радиопромышленности

Таблица 5

Отечественные научные школы в радиотехнике

Название научной школы	Исследовательская программа	Наиболее активный период деятельности научной школы, годы
Научная школа И.Г. Фреймана в области инженерной радиотехники	Научно-инженерный подход к проектированию и конструированию различных радиотехнических систем	1917–1935
Научная школа М.В. Шулейкина в области инженерной радиотехники, теории и практики распространения радиоволн	Научно-инженерный подход к проектированию и конструированию различных радиотехнических систем, исследования в области теории и практики распространения радиоволн	1913–1938
Научные школы А.Л. Минца в области техники мощных радиовещательных станций и ускорительной техники	Научно-инженерный подход к проектированию и конструированию мощных радиовещательных станций, радиоэлектронных систем для ускорителей заряженных частиц и РЛС для систем ПРО, ККП, ПРН	1921–1943; 1946–1970
Научная школа В.К. Аркадьева (лаборатория электромагнетизма им. Дж.К. Максвелла)	Изучение электромагнитных процессов в веществе с точки зрения теории электромагнитного поля Дж.К. Максвелла и ее расширение на область ферромагнитных металлов	1919–1939
Научная школа Б.А. Введенского по исследованию распространения УКВ	Теоретическое и экспериментальное изучение особенностей распространения УКВ	1923–1969

**Глава 4. Формирование радиофизики как науки.
Научные школы Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси
и их учеников**

В данной главе будут рассмотрены результаты, полученные научной школой Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси, их учеников и сотрудников в области теории нелинейных колебаний и применения ее методов и представлений к решению радиофизических проблем.

§ 4.1. Научная школа Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси

*«Основной чертой Леонида Исааковича, как ученого,
являлось его постоянное стремление обосновать
и осознать фундаментальные положения радиофизики»*

[52. Л. 5]

А.И. Берг

Большинство научных достижений, полученных Л.И. Мандельштамом и Н.Д. Папалекси в области радиофизики, являются результатом их творческого содружества. Как писал Л.И. Мандельштам, «значительное число работ вышло под нашим общим именем. Наше сотрудничество в области электромагнитных колебаний продолжается свыше 30 лет; за это долгое время в нашей совместной работе в этой области установился столь тесный контакт, как в отношении инициативы, так и разработки проблем (теоретической и экспериментальной), что в большинстве случаев трудно указать, что сделано одним или другим. Что же касается технического оформления полученных в этих работах результатов, то Николаю Дмитриевичу принадлежит главная роль» [479. С. 129]. Тем самым, уместно говорить о единой научной школе Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси. В историко-научном анализе речь пойдет о двух научных руководителях одной научной школы. В связи с этим имеет смысл привести два списка источников литературы.

Источники литературы (Л.И. Мандельштам). К библиографическим материалам, посвященным научной и педагогической деятельности Л.И. Мандельштама, следует отнести:

- полное собрание его научных трудов (в пяти томах; под ред. С.М. Рытова, М.А.

Леонтовича) [331];

- книгу А.А. Печенкина «Леонид Исаакович Манделъштам. Исследование, преподавание и остальная жизнь» [401];

- книгу Е.Л. Фейнберга «Эпоха и личность. Физики. Очерки и воспоминания» [476], в которой содержатся воспоминания о некоторых выдающихся отечественных физиках (в том числе, Л.И. Манделъштаме), а также воспоминания о Н. Боре и очерк о В. Гейзенберге;

- краткий очерк жизни и научной деятельности Л.И. Манделъштама, написанный Н.Д. Папалекси [385];

- сборник материалов «Академик Л.И. Манделъштам. К 100-летию со дня рождения» (1979 г.) [5], содержащий описание жизни и научной деятельности Л.И. Манделъштама, а также воспоминания о нем;

- сборник статей «Академик Леонид Исаакович Манделъштам» (1980 г.) [6], посвященный 100-летию со дня его рождения;

- книгу «Замечательные ученые» (под ред. С.П. Капицы) [215], в которой приведен научно-биографический материал В.А. Фабриканта о Л.И. Манделъштаме;

- монографию Ю.А. Храмова «Научные школы в физике» [511], в которой описана научная школа Л.И. Манделъштама;

- книгу Д.И. Трубецкого «Наука о сложностях в лицах, датах и судьбах. Как закладывались основы синергетики. Пиршество духа и драма идей» [468];

- статьи Н.Д. Папалекси [385], В.В. Рагульского [416], В.В. Мигулина [342], А.В. Гапонова-Грехова и М.И. Рабиновича [158], С.М. Рытова [437], Е.Л. Фейнберга [474] и др., опубликованные в журнале «Успехи физических наук» и посвященные научному творчеству и педагогической деятельности Л.И. Манделъштама;

- статьи Е.Я. Щеголева «Академик Л.И. Манделъштам — радиоинженер» [534], Г.Е. Горелика «К 125-летию Леонида Исааковича Манделъштама» [170], В.В. Рагульского «О людях науки (часть 2)» [415];

- информационные ресурсы АРАН, электронной библиотеки «Научное наследие России», сайта <http://radiolamp.net/> (рубрика «История электроники и радио»), содержащие научно-биографические сведения о Л.И. Манделъштаме;

- фонд 1622 АРАН, в который включены рукописи работ, статьи и доклады Л.И. Манделъштама по оптике, радиофизике, теории нелинейных колебаний, квантовой

механике, истории и методологии физики, его отзывы о научной деятельности ученых, рецензии на диссертационные исследования и книги, биографические документы, письма, фотографии и др.

Источники литературы (Н.Д. Папалекси). К библиографическим материалам, посвященным научной и педагогической деятельности Н.Д. Папалекси, следует отнести:

- собрание его научных трудов (в двух томах; под ред. С.М. Рытова) [391];
- автобиографию Н.Д. Папалекси и отзыв Л.И. Мандельштама о его научных трудах [479];
- статьи В.В. Мигулина [344], С.М. Рытова [436], А.Е. Саломоновича [446], опубликованные в журнале «Успехи физических наук» и посвященные научному творчеству и педагогической деятельности Н.Д. Папалекси;
- статью Н.Д. Папалекси, А.А. Андропова, Г.С. Горелика и С.М. Рытова «Некоторые исследования в области нелинейных колебаний, проведенные в СССР, начиная с 1935 г.» [393];
- статьи В.М. Пестрикова «Одесские радиолампы Папалекси» [397] и «Русские радиолампы: первые конструкции и научные исследования» [399], Е.Л. Фейнберга «Становление радио в СССР. К 125-летию со дня рождения академика Н.Д. Папалекси» [475], Н.Д. Папалекси и Л.И. Мандельштама «Памяти Фердинанда Брауна» [551];
- доклад Г.С. Горелика «Несколько замечаний о стиле научного творчества Н.Д. Папалекси» [71];
- информационные ресурсы АРАН, электронной библиотеки «Научное наследие России», сайта <http://radiolamp.net/> (рубрика «История электроники и радио»), содержащие научно-биографические сведения о Н.Д. Папалекси;
- фонд 600 АРАН, в котором приведены рукописи статей, расчеты и заметки Н.Д. Папалекси, описания его изобретений, планы и отчеты о научно-исследовательских работах, отзывы о трудах и деятельности сотрудников Н.Д. Папалекси, биографические документы, письма, фотографии и др.

Направление радиофизики. «Вряд ли есть в настоящее время необходимость специально обосновывать важное значение колебательных процессов в современной физике и технике. Можно без преувеличения сказать, что нет почти области в этих науках, в которой колебания не играли бы той или иной роли, не говоря уже о том, что ряд областей физики и техники всецело базируется на колебательных явлениях...» [30.

С. 9]. Так, Л.И. Мандельштам подчеркивал эвристическую ценность и актуальность исследований физических процессов, происходящих в колебательных системах разной природы.

Этот фрагмент взят из предисловия к первому изданию книги А.А. Андропова, А.А. Витта и С.Э. Хайкина «Теория колебаний» (1937 г.). В ней представлен обширный материал, посвященный теории нелинейных колебаний применительно к автономным системам¹, описанию линейных колебательных систем, в которых параметры, определяющие их физические свойства, не изменяются в ходе процесса. Кратко напомним, что линейные колебательные системы подчиняются принципу суперпозиции и описываются идентичными линейными дифференциальными уравнениями. Для таких систем характерны существование устойчивого положения равновесия, возможность совершать около него затухающие колебания, а также независимость периода колебаний от амплитуды колебаний (изохронность колебаний).

Основоположителем классической теории колебаний и волн малой амплитуды считается лорд Рэлей (1842–1919). В книге «Теория звука» (1877–1878 гг.) он предложил единый подход к изучению колебательных и волновых процессов, имеющих различную физическую природу, доказал колебательную природу звука, указал на специфичность нелинейных систем, способных совершать незатухающие колебания без внешнего периодического воздействия.

Но, как писал Л.И. Мандельштам, «в теории колебаний широко пользуются упрощенной математической трактовкой, приводящей к линейным дифференциальным уравнениям, и еще очень недавно думали, что в теории колебаний можно ими ограничиться. Развитие радиотехники привело к тому, что в некоторых весьма важных вопросах теория, основанная на линейных дифференциальных уравнениях, оказалась недостаточной» [329. С. 14, 15].

Действительно, процессы генерации колебаний могут быть интерпретированы только на языке нелинейных дифференциальных уравнений. Например, для лампового генератора характерно установление режима незатухающих колебаний с вполне определенной амплитудой, не зависящей от начальных условий. При этом в системе, описываемой линейными дифференциальными уравнениями, не могут возникнуть (без

¹ Автономные системы — системы, для которых дифференциальные уравнения не зависят явно от времени

переменного внешнего воздействия) незатухающие колебания, либо возможны незатухающие колебания произвольной амплитуды, зависящей от начальных условий. С появлением электронных ламп (их вольтамперные характеристики являются нелинейными) и автогенераторов незатухающих колебаний изучение нелинейных явлений стало актуальной задачей.

Дальнейшие исследования показали, что нелинейные системы представляют собой новый класс физических объектов. Их характерными особенностями являются сильная зависимость от начальных условий и нарушение принципа суперпозиции. Одна и та же нелинейная система при разных начальных условиях может совершать различные по своему характеру движения (в том числе, хаотические).

Как отмечал А.А. Андронов, «далеко не у всех исследователей хватило дальновидности и решительности для того, чтобы покинуть посыпанные песочком линейные аллеи и углубиться в девственный лес нелинейной радиофизической теории. Один из первых это сделал голландский радиофизик Бальтазар Ван-дер-Поль» [59. Л. 14]. Он рассматривал процессы возбуждения и установления периодических колебаний в ламповом генераторе и вывел уравнение автоколебаний для осциллятора (генератора) с нелинейным затуханием (1927 г.) [468; 292]:

$$\frac{d^2x}{dt^2} - \varepsilon(1-x^2)\frac{dx}{dt} + x = 0, \quad (1)$$

где x — обобщенная координата; ε — положительная постоянная (параметр нелинейности) [1].

Из анализа уравнения Ван-дер-Поля следует, что пока колебания в системе малы и $x^2 < 1$, коэффициент при $\frac{dx}{dt}$ (этот член в уравнении описывает трение) отрицателен. Такое решение приводит к нарастанию колебаний в системе. Если $x^2 > 1$, то трение становится положительным и уменьшает амплитуду колебаний в системе. В результате двух противоположных процессов раскачка колебаний будет постепенно замедляться, а движение неограниченно приближаться к режиму установившихся колебаний с постоянной амплитудой.

Для получения приближенного решения уравнения (1) при достаточно малых значениях параметра ε Б. Ван-дер-Поль предложил асимптотический метод — метод «медленно меняющихся» коэффициентов (или метод медленно меняющихся амплитуд, сокращенно метод ММА). С его помощью решение уравнения (1) можно представить в

виде $x = a\sin\omega t + b\cos\omega t$, где a и b — медленно меняющиеся во времени амплитуды искомого колебания. Медленность изменения a и b во времени определяется тем, что их производные по времени являются величинами первого порядка малости по сравнению с произведениями ωa и ωb .

Математические преобразования позволяют получить укороченные уравнения и найти приближенное периодическое решение уравнения (1)². Исследования Б. Ван-дер-Поля важны в силу нескольких причин. Во-первых, они стали одними из первых в области изучения нелинейных радиотехнических устройств, а, во-вторых, — послужили стимулом к развитию нелинейных представлений и методов в других странах: Англии (Э. Эплтон), Германии (Г. Баркгаузен), Франции (А. Леотэ). Но они не опирались на прочный математический аппарат и базовые нелинейные понятия.

Ученые полагали, что для описания нелинейных явлений достаточно использовать привычные, наглядные и хорошо разработанные методы теории линейных колебаний. Как отмечал Л.И. Мандельштам, «такое “линеаризирование” всегда искусственно, редко бывает полезным, большей частью вообще ничему не научает, а иногда и прямо вредно» [30. С. 10].

Другой вариант решения нелинейных проблем состоит в рассмотрении каждой конкретной нелинейной колебательной системы и применении к ее изучению наиболее адекватного метода. Такой подход был, в частности, реализован Б. Ван-дер-Полем в указанной выше задаче. Но метод ММА может быть применен лишь к одному классу динамических систем — близких к линейным консервативным системам.

Таким образом, «этот путь «... не ведет к установлению тех общих точек зрения, той базы как математической, так и физической, которая необходима для достаточно полного и всестороннего охвата области нелинейных колебаний...» [Цит. по: 202].

Долгое время идея о том, что можно создать общую теорию нелинейных колебаний была не очевидной. Первым, кто осознал необходимость выработки «нелинейного физического мышления», применения «интернационального языка» теории колебаний (основанного на изоморфизме колебательных закономерностей и

² В настоящее время метод ММА применяют для описания колебаний, для которых соответствующие дифференциальные уравнения хотя и являются нелинейными, но содержат некоторый параметр ε . При $\varepsilon = 0$ уравнения вырождаются в линейные дифференциальные уравнения с постоянными коэффициентами.

общем математическом аппарате) стал Л.И. Мандельштам. Системное же описание широкого класса нелинейных задач принадлежит научной школе Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси, к обсуждению которой мы и переходим.

Научные биографии руководителей научной школы.

Многогранная научная и педагогическая деятельность Леонида Исааковича Мандельштама (1879–1944) оказала мощное влияние на развитие магистральных направлений физики и техники в нашей стране. Широко известны его работы в области оптики, молекулярной физики, радиофизики, теории нелинейных колебаний, квантовой механики, истории и методологии физики. Упомянем лишь некоторые из его научных достижений [401; 343; Л.И. Мандельштам 386].



В своих ранних работах Л.И. Мандельштам показал, что рассеяние света в однородной среде обусловлено, вопреки предположению лорда Рэлея, не движением молекул, а тепловыми флуктуациями плотности. В 1918 г. Л.И. Мандельштам высказал предположение, что при рассеянии света на адиабатических флуктуациях плотности должно наблюдаться расщепление линий в спектре рассеянного света. Однако сообщение об этом эффекте появилось в печати значительно позже (в 1926 г.) почти одновременно с публикацией французского физика Л. Бриллюэна. В 1930 г. эффект Мандельштама — Бриллюэна был экспериментально продемонстрирован Л.И. Мандельштамом и Г.С. Ландсбергом в кристаллах и Е.Ф. Гроссом в жидкостях. В ходе экспериментов Л.И. Мандельштам и Г.С. Ландсберг обнаружили в 1928 г. новый эффект — комбинационное рассеяние в кристаллах. Практически одновременно и независимо от них его наблюдали в жидкостях индийские физики Ч. Раман и Р. Кришнан.

Весьма значителен вклад Л.И. Мандельштама в квантовую теорию. В 1927 г. он совместно со своим учеником М.А. Леонтовичем опубликовал статью «К теории уравнения Шредингера» [550]. В ней была теоретически обоснована возможность преодоления микрочастицей энергетического барьера даже в том случае, когда полная энергия частицы меньше высоты потенциального барьера ($E < U$). Вместе с другим своим учеником И.Е. Таммом Л.И. Мандельштам привел более общую трактовку соотношения неопределенностей в терминах «энергия — время» (1944 г.). Кроме того, в своих лекциях он четко обосновал различия между прямыми и косвенными

измерениями в квантовой механике. Разумеется, научный вклад Л.И. Мандельштама далеко не исчерпывается указанными исследованиями. Их описание можно найти в ряде публикаций [331; 401].

Многолетний друг и коллега Л.И. Мандельштама Николай Дмитриевич Папалекси (1880–1947) зарекомендовал себя как первоклассный специалист в области радиотехники, теории нелинейных и параметрических колебаний, измерительной техники [344; 436]. Он также является основоположником советской радиоастрономии (об этом будет рассказано в следующей главе). Помимо основного (радиофизического) направления исследований, Н.Д. Папалекси выполнил ряд работ в области метеорологии, физики вакуума, физики газового разряда.



Н.Д. Папалекси

В дальнейшем повествовании мы сфокусируем внимание на исследованиях Л.И. Мандельштама и Н.Д. Папалекси в области теории нелинейных колебаний и радиотехники.

Л.И. Мандельштам родился 22 апреля 1879 г. в Могилеве. Среднее образование он получил во 2-ой Одесской гимназии. Окончив ее с медалью в 1897 г., Л.И. Мандельштам поступил на математическое отделение физико-математического факультета Новороссийского университета, но в 1898 г. был исключен из университета в связи со студенческими волнениями. В 1899 г. Л.И. Мандельштам уехал за границу и продолжил образование в Страсбургском университете.

Н.Д. Папалекси родился 2 декабря 1880 г. в Симферополе. Сначала он учился в Симферопольской, а затем в Полтавской гимназии, которую окончил в 1899 г. с золотой медалью. Для получения высшего образования Н.Д. Папалекси уехал за границу. После кратковременного пребывания в Берлинском университете (1899–1900 гг.) он поступил в Страсбургский университет (1900–1904 гг.), где и познакомился с Л.И. Мандельштамом. Исследования в области теории колебаний и радиотехники были начаты Л.И. Мандельштамом и Н.Д. Папалекси в Страсбургском университете под руководством Карла Фердинанда Брауна (1850–1918), одного из представителей научной школы А. Кундта. К.Ф. Браун известен как изобретатель катодно-лучевой трубки («трубки Брауна»), создатель кристаллического детектора. Он — лауреат Нобелевской премии по физике (1909 г. совместно с Г. Маркони). Кроме того, К.Ф.

Браун выполнил важнейшие работы в области беспроволочной телеграфии [255].

Под его влиянием Л.И. Мандельштам начал заниматься вопросами радиотехники, которые в то время находились в сфере интересов немецкого ученого. Первые научные достижения Л.И. Мандельштама в этой области связаны с исследованиями электромагнитных колебаний. Дело в том, что в конце XIX — начале XX вв. еще не была установлена физическая природа процессов, происходящих в передатчике и приемнике. Исследователи не располагали точными данными о длинах (частотах) волн, на которых работали радиопередатчики, а также не имели надежных приборов для измерения высокочастотных токов и напряжений. Конечно, все это существенным образом тормозило развитие беспроволочной телеграфии.

Понимая сложившуюся ситуацию, К.Ф. Браун предложил Л.И. Мандельштаму придумать и апробировать метод измерения и контроля длины волны электромагнитных колебаний. В 1902 г. была опубликована работа Л.И. Мандельштама, посвященная теоретическому и экспериментальному изучению способа определения периода колебательного разряда [65. Л. 5, 5об, 6]. В том же году Л.И. Мандельштам окончил Страсбургский университет и защитил докторскую диссертацию на тему «О методах измерения периода быстрых электрических колебаний». В ней была представлена методика измерения и контроля частоты электромагнитных колебаний, основанная на зависимости полного сопротивления от частоты.

Уже в этой работе проявились свойственные Л.И. Мандельштаму качества незаурядного теоретика и талантливого изобретателя. Он оригинально подошел к решению задачи, применив дифференциальную схему и «нулевой метод». В качестве индикатора был использован сконструированный им самим двойной термометр Рисса. Л.И. Мандельштам разработал теорию измерения периода быстрых электромагнитных колебаний и экспериментально подтвердил его эффективность.

Работая младшим ассистентом у К.Ф. Брауна, Л.И. Мандельштам приступил к изучению способов повышения мощности радиопередачи с целью увеличения дальности радиосвязи. В результате Л.И. Мандельштамом и К.Ф. Брауном была предложена так называемая «энергетическая схема Брауна» (или брауновский передатчик со связью; его описание приведено в статье [328]. В ней были использованы параллельная зарядка конденсаторов, входящих в колебательные контуры, и последовательная их разрядка через самоиндукции (речь идет об индуктивностях) этих

контуров, образующих вместе с конденсаторами, основной последовательный контур радиопередатчика. Впоследствии Л.И. Мандельштам улучшил энергетическую схему Брауна, для которой был характерен существенный недостаток: искра во время разряда в контуре поглощала энергию, увеличивая затухание колебаний.

По окончании Страсбургского университета Л.И. Мандельштам в качестве личного ассистента К.Ф. Брауна принимал активное участие в лабораторных исследованиях и заводских испытаниях новых приемно-передающих устройств, работающих по сложной схеме Брауна. Они проводились в лабораториях Сименс и Гальске в Берлине, а затем и на Балтике, где была достигнута рекордная для того времени дальность радиопередачи (свыше 150 км) между местечком Сасниц на острове Рюген и г. Кольберг. Вкратце, идея сложной схемы Брауна состояла в разделении функций генерации и излучения электромагнитных колебаний. Для этого искровой разрядник в передатчике и когерер (детектор) в приемнике были вынесены из цепи антенны в отдельные колебательные контуры значительной емкости с малым затуханием. Это позволило избавиться от потери энергии на создание искры (что повысило КПД передатчика), эффективно использовать явление резонанса, т. е. передавать телеграфные сигналы в узкой полосе частот и без взаимных помех.

Для повышения эффективности устройства, работающего по сложной схеме Брауна, радиоинженеры стремились усилить связь контура с антенной. В результате экспериментальных исследований на Балтике и проведенного теоретического анализа Л.И. Мандельштам пришел к парадоксальному выводу: сила приема возрастает не с увеличением связи, а, наоборот, с ее значительным ослаблением, причем одновременно с усилением приема повышается и селективность приемника. «Принцип слабой связи», установленный в 1903 г. Л.И. Мандельштамом совместно с Г. Брандесом, вошел в основы классической радиотехники, а имя Л.И. Мандельштама стало широко известным в кругу радиоспециалистов.

В 1903 г. Л.И. Мандельштам был зачислен вторым ассистентом³ в штат Страсбургского физического института, через некоторое время он стал и первым ассистентом. В обязанности Л.И. Мандельштама входило руководство научными работами докторантов и ученых из различных стран, приезжавших поработать в

³ Первым ассистентом в то время был И. Ценнек — ученик К.Ф. Брауна, известный радиоспециалист, автор концепции «поверхностных волн».

Страсбургский физический институт. Чаще всего молодые ученые получали темы исследований от К.Ф. Брауна, а затем и от Л.И. Мандельштама⁴. Среди его учеников были Rohmann, Aeckerlein, Riegger, Dickmann, Glage, Sziwessy, G. Thomson, Jollos, Würst, v. Ubisch, Шиловский, Bädke (фамилии ученых приведены из биографии Л.И. Мандельштама, составленной Н.Д. Папалекси к собранию его научных трудов [36]).

В 1907 г. Л.И. Мандельштам, проводя эксперименты с «трубками Брауна», изобрел метод изображения кривых силы тока при разряде конденсаторов — развертку изображения во времени. Его описание приведено в статье [330]. В том же году в полемике с Дж. Флемингом Л.И. Мандельштам объяснил направленное действие согнутой антенны Маркони. К важнейшим научным достижениям Л.И. Мандельштама следует также отнести формулировку теоремы взаимности в радиотелеграфии для точечных источников излучения (1914 г.).

Обратимся теперь к научной биографии Н.Д. Папалекси. Его деятельность была сосредоточена в Страсбургском университете и его физическом институте. Н.Д. Папалекси работал в качестве лаборанта института, ассистента К.Ф. Брауна и приват-доцента по кафедре физики. В 1904 г. Н.Д. Папалекси представил диссертацию «Динамометр для быстрых электрических колебаний. Теория и опыты» на степень доктора физики. В этой работе им был теоретически и экспериментально рассмотрен динамометрический принцип построения высокочастотных измерительных приборов⁵ (волномера, измерителя логарифмического декремента затухания, высокочастотного амперметра и др.).

Конструкция динамометра для высокочастотных токов весьма проста: легкий короткозамкнутый виток находится в магнитном поле, создаваемом двумя взаимно

⁴ Л.И. Мандельштам был не только ассистентом К.Ф. Брауна в его исследованиях в области радиотелеграфии, но и стал его неизменным консультантом. Почти каждый день в 12 ч, после своей лекции по экспериментальной физике, К.Ф. Браун совершал прогулку с Л.И. Мандельштамом, во время которой они беседовали на различные темы.

⁵ В 1911 г. на II Менделеевском съезде по общей и прикладной химии и физике в Петербурге Н.Д. Папалекси сделал доклад «О новых методах измерений в области токов большой частоты». В нем была изложена теория и описана конструкция ряда приборов (динамометрического декрементметра и амперметра), основанных на динамометрическом принципе.

перпендикулярными катушками, каждая из которых связана с одним из контуров (возбуждающим и возбужденным). Положение этого витка зависит от расстройки контуров; при точной настройке индикатор прибора проходит через «нуль». По расстоянию между максимальными отклонениями витка в ту и другую сторону можно оценить затухание в колебательных контурах.

В 1911 г. Н.Д. Папалекси представил диссертацию «О процессах в цепи переменного тока, содержащей электрический вентиль» для получения права чтения лекций (после защиты он занял должность приват-доцента Страсбургского университета). В ней анализируются явления, происходящие в цепи переменного тока, содержащей самоиндукцию и нелинейный элемент — выпрямитель или электрический вентиль, проводимость которого различна для прямого и обратного направлений тока. Эта научная работа примечательна в силу нескольких причин.

Во-первых, диссертация Н.Д. Папалекси была одним из наиболее ранних исследований по нелинейным колебаниям.

Во-вторых, к их рассмотрению был применен новый физический метод — метод припасовывания. Его сущность заключается в замене реальной нелинейной характеристики устройства ломаной, состоящей из прямолинейных отрезков [6; 391]. Это позволяет заменить нелинейное дифференциальное уравнение системой линейных уравнений, решения которых смыкаются («припасовываются») в точках перехода от одного отрезка характеристики к другому.

Приведем результаты научных работ, выполненных Л.И. Мандельштамом совместно с Н.Д. Папалекси в Страсбургском университете.

- Разработка метода излучения сдвинутых по фазе (с определенной разностью фаз) идентичных затухающих колебаний. Его описание приведено в первой из их совместных публикаций [335]. Данный метод был использован при исследовании распространения электромагнитных колебаний, в частности, были проведены опыты по направленной радиопередаче и приему радиоволн. В них применялись два или большее число отдельных вертикальных воздушных проводов, расположенных на расстояниях, сравнимых с длиной волны, и питаемых колебаниями, сдвинутыми по фазе. Расстояния между проводами или сдвиги фаз можно выбрать так, чтобы излучение происходило преимущественно в некотором определенном направлении. Подобные опыты были осуществлены в 1904 и 1905 гг. на парадной площади Полигон в Страсбурге. Их

результаты полностью подтвердили теоретические расчеты.

- Создание методов измерений параметров (логарифмических декрементов, амплитуд колебаний, разности фаз) колебательных контуров и конструирование измерительных приборов для высоких частот (до этого существовали лишь грубые и ненадежные приборы — термометр Рисса, искромер Герца). В результате исследований был изобретен чувствительный метод измерения частоты и затухания электрических колебаний, сконструированы индукционный динамометр, волномер (или частотомер), в основу работу которого было положено явление резонанса и др. С помощью волномера можно было проводить измерения частот однопериодных колебаний и анализировать сложные колебательные процессы. Изложение результатов проведенных исследований представлено, в частности, в статье Л.И. Мандельштама и Н.Д. Папалекси [334].

- Осуществление пеленгации с помощью рамочной антенны Брауна (1914 г.). Важность исследования была связана с тем, что радиоприем на рамку, в отличие от открытого колебательного контура, обладает рядом преимуществ (например, отличается меньшим уровнем помех). К этой же тематике относятся работы по определению направления электрического вектора поля проходящей волны, измерению напряженности поля радиоволн (в том числе, для волн, излучаемых Эйфелевой башней).

- Опыты Л.И. Мандельштама и Н.Д. Папалекси по изучению инерции электронов в металлах (1913 г.) [66]. В одном из опытов проволочная катушка соединялась с помощью скользящих контактов с гальванометром и приводилась в быстрое вращение. При резкой остановке катушки в электрической цепи появлялся кратковременный ток, который регистрировал гальванометр. Направление тока свидетельствовало о том, что он обусловлен движением отрицательно заряженных частиц. Опыты Л.И. Мандельштама и Н.Д. Папалекси были выполнены за несколько лет до экспериментов Р. Толмена и Т. Стюарта (1916 г.).

В связи с надвигавшейся Первой Мировой войной Л.И. Мандельштам и Н.Д. Папалекси были вынуждены прервать научные исследования в Страсбургском университете, и в 1914 г. вернуться на родину В 1915 г. Л.И. Мандельштам был избран приват-доцентом по кафедре физики на физико-математическом факультете Новороссийского университета. В качестве заведующего кафедрой физики Л.И. Мандельштам привлек к преподаванию Н.Д. Папалекси, М.А. Аганина, И.Е. Тамма, Б.Ф. Цомакиона и др. Совместно с ними и при участии К.Б. Романюка Л.И. Мандельштам

создал в Новороссийском университете физическую лабораторию, собрав необходимое для исследований оборудование. Ему удалось поставить чтение лекций по физике и практические занятия на высокий научный уровень. При этом Л.И. Мандельштам состоял научным консультантом Одесского государственного радиозавода.

С декабря 1915 г. по сентябрь 1917 г. Л.И. Мандельштам работал в качестве консультанта радиотелеграфного отделения фирмы «Сименс и Гальске» в Петрограде. Помимо руководства лабораторными исследованиями в области радиотехники (разработка радиотехнических схем и методов измерений), он занимался и чисто инженерными вопросами. Одним из научных результатов, полученных Л.И. Мандельштамом в этот период, стал изобретенный им в 1916 г. абсолютный метод градуировки волномеров. Его описание было приведено учеником Л.И. Мандельштама Л.Б. Слепяном в статье [450].

Кроме того, Л.И. Мандельштам разработал технологию оксидирования проволоки для реостатов (1916 г.), наладил ее производство, а также сконструировал прибор для уменьшения помех при радиоприеме. Более подробно работы Л.И. Мандельштама на Радиотелеграфном заводе в Петрограде рассмотрены его учеником Е.Я. Щеголевым в статье [534]. По его воспоминаниям, инженеры, работавшие вместе с Л.И. Мандельштамом, «всегда поражались, как красиво и подчас гениально просто решались Леонидом Исааковичем иной раз очень и очень непростые технические задачи, так просто, что невольно у каждого из нас возникал вопрос, почему же это раньше не пришло мне в голову?» [Там же. С. 89].

После возвращения в Россию Н.Д. Папалекси работал в РОБТиТ в качестве консультанта по физическим вопросам и заведующего опытной лабораторией на заводе [397; 475]. Он занимался конструированием первых отечественных усилительных и генераторных электронных ламп, ламповых радиоприемников для нужд армии, проводил исследования по радиотелефонной связи и др. Подробно об этом этапе научного творчества Н.Д. Папалекси рассказано в главе 3.

В 1918 г. он со своей лабораторией переехал в Москву, где принял участие в организации Шаболовской радиостанции. Получив приглашение от Л.И. Мандельштама, осенью 1918 г. Н.Д. Папалекси отправился в Одессу, где стал одним из организаторов Одесского политехнического института. В нем Н.Д. Папалекси был доцентом по кафедре физики и заведующим физическим практикумом, а с 1920 г. —

профессором по теоретической электротехнике, а также научным консультантом Одесского государственного радиозавода.

В то время в радиотехнике происходил переход от искровых передатчиков и приема с помощью когереров и кристаллических детекторов к ламповой технике. При этом ламповые усилители низкой частоты и гетеродины постепенно становились неотъемлемой составляющей радиотехнических устройств. Однако работа существовавшей в эти годы в России сети радиостанций находилась под угрозой остановки из-за отсутствия французских радиоламп. В 1921 г. в условиях полной разрухи, когда материалами для изготовления радиоламп были лишь бутылочное стекло и уцелевшие осветительные лампы накаливания, группа ученых-энтузиастов⁶ (Е.Я. Щеголев, К.Б. Романюк, И.Е. Тамм и др.) во главе с Н.Д. Папалекси приступила к ремонту и изготовлению радиоламп.

Широкая эрудиция Н.Д. Папалекси в области теоретической и практической радиотехники, его талант изобретателя и умелого организатора научных исследований в совокупности с самоотверженной работой всей группы привели к успеху: было налажено восстановление испорченных французских ламп, а затем и производство радиоламп собственной конструкции. В результате на Одесском государственном радиозаводе был осуществлен мелкосерийный выпуск усилительных радиоламп, сыгравших большую роль в обеспечении работоспособности многих радиостанций на Черноморском флоте, в Сибири и на Дальнем Востоке.

Работая в Одесском политехническом институте, Н.Д. Папалекси занимался и теоретическими изысканиями. В 1922 г. он опубликовал первую часть исследования по теории лампового генератора. К сожалению, вторая часть этого труда не вышла в свет. Начатая им ранее работа по созданию нелинейной теории генерирования электрических колебаний осталась незавершенной. Но, знакомясь с содержанием опубликованной части, можно сделать вывод, что Н.Д. Папалекси отчетливо понимал особенности этого класса нелинейных колебательных систем. В этом вопросе он существенно опережал остальных исследователей, которые только в последующие годы приступили к созданию нелинейной теории лампового генератора.

В 1922 г. Н.Д. Папалекси и Л.И. Мандельштам были приглашены в Москву в качестве научных консультантов радиолaborатории ТЗСТ [401]. В 1924 г. она была

⁶ В шутку эту группу называли «Вакар» («вакуумная артель»).

переведена в Ленинград и преобразована в ЦРЛ (см. главу 2). В этой лаборатории, в частности, проводились работы по изучению конструкции и принципа действия различных вакуумных ламп, а также по вопросам, связанным с высокочастотной телеграфией по проводам.

В ЦРЛ Н.Д. Папалекси и Л.И. Мандельштам руководили лабораторией высокочастотной физики, штат которой первоначально составляли всего два сотрудника И.М. Борушко и С.Я. Соколов. За время работы в ЦРЛ (условно первый период охватывает 1924–1929 гг., а второй период — 1929–1935 гг.) Н.Д. Папалекси было опубликовано (частично совместно с Л.И. Мандельштамом) более 20 научных работ и получено свыше 40 патентов и авторских свидетельств на изобретения.

Отметим наиболее важные научные достижения Л.И. Мандельштама, Н.Д. Папалекси их сотрудников в ЦРЛ (рис. 20п) в области радиотехники и теории нелинейных колебаний [69].

- Исследования мощных вакуумных ламп конструкций М.М. Богословского и С.А. Векшинского, явления «блокинга» и «динатронного эффекта» (1924 г.), приводивших к их быстрому выходу из строя.

В ЦРЛ была создана специальная установка и предложены конкретные решения по усовершенствованию данных радиоламп.

- Обнаружение в регенеративном приемнике так называемых «ложных» резонансов (1924 г.).

Это привело к исследованию вторичных биений и созданию метода точного измерения частот, который применялся для градуировки стандартов частоты.

- Изучение методов модуляции мощных генераторов с самовозбуждением.

Их использование позволило создать магнитный манипулятор, который был установлен на мощной (20 кВт) ламповой радиостанции в Тегеране (1925 г.). Любопытна история его изобретения. По чертежам, полученным из Франции, ТЗСТ разрабатывал мощный передатчик для Тегеранской радиостанции. При этом телеграфная манипуляция оказалась самым слабым звеном всего устройства. Как писал С.М. Рытов, «Н.Д. Папалекси предложил магнитный манипулятор, основанный на насыщении железа. Вместо механических контакторов он поставил маленький ящик, внутри которого находился в масле небольшой дроссель. Четко и безотказно, без всякого шума и каких-либо движущихся частей этот манипулятор управлял мощностью

в 25 кВт, работая от шестивольтового аккумулятора и потребляя всего 50 Вт» [436. С. 436]. В дальнейшем Е.Я. Щеголев применил магнитный манипулятор на двух кораблях ВМФ. Начиная, с 1928 г. это устройство утратило свое значение, так как были сконструированы многокаскадные передатчики, имеющие маломощный задающий генератор.

- Исследование свойств кварца и кварцевой стабилизации (1926–1928 гг.).

В результате проведенных работ был разработан высокоселективный приемник с кварцевым фильтром, успешно прошедший испытания и установленный в Бутовском приемном центре.

- Разработка первых четырех каскадов для коротковолнового передатчика Московского центра (1927 г.).

В этом исследовании были применены кварцевая стабилизация и схема умножения частоты. Кроме того, была изобретена осцилляторная схема стабилизации частоты для радиостанции ВЦСПС (1928 г.).

- Решение задач метрологического характера.

В лаборатории высокочастотной физики были разработаны схемы и прибор для измерения глубины модуляции, методика измерения параметров кварца, а также исследована тонкая структура его частот (1929–1930 гг.).

- Другие направления исследований.

Под руководством Л.И. Мандельштама и Н.Д. Папалекси были проведены работы по параметрическим явлениям (начиная с 1925 г.), изучены релаксационные схемы (1927 г.), предложена схема деления частоты (1928 г.), а также разработан автопараметрический фильтр (1929 г.). Кроме того, в 1930 г. были начаты исследования по изучению радиоинтерференционных методов. Ниже мы рассмотрим некоторые из этих научных достижений более подробно.

В ЦРЛ Н.Д. Папалекси совместно с Л.И. Мандельштамом приступили к исследованию колебательных процессов в регенеративных системах (системах с положительной обратной связью), заложившему основу всей их научной деятельности в области теории нелинейных колебаний. Ее создание позволило не только объяснить уже известные нелинейные явления, но и более глубоко изучить процессы, происходящие в нелинейных колебательных системах, а также предсказать ряд новых эффектов (благодаря «нелинейной интуиции», как говорил Л.И. Мандельштам).

В ходе исследований в лаборатории высокочастотной физики ЦРЛ было показано, что явления, аналогичные резонансу в линейных колебательных системах, в нелинейных регенеративных системах должны наблюдаться не только при приближении частоты внешнего воздействия к частоте собственных колебаний системы, но и в том случае, когда частота внешнего воздействия оказывается кратной собственной частоте системы. Это явление было названо резонансом n -го рода⁷ (в частности, второго рода, если внешняя частота вдвое больше собственной частоты системы). Его теоретическая интерпретация приведена в статьях [333; 384; 392].

Кроме фундаментального отличия резонанса n -го рода (в дальнейшем мы будем говорить о резонансе второго рода) от классического резонанса, состоящего в том, что частота возбуждаемых колебаний не равна частоте действующей гармонической ЭДС, а находится в рациональном отношении к ней, существует еще ряд других принципиальных различий. При резонансе второго рода колебания возбуждаются лишь в определенных пределах изменения амплитуды ЭДС. От нее зависит также и ширина области возбуждения колебаний. В отличие от классического резонанса, при резонансе второго рода колебания нарастают сначала медленно, а затем быстро (рис. 21п).

Указанные особенности резонанса n -го рода были использованы в практических целях: для осуществления трансформации частоты в рациональном отношении, в радиоинтерференционных методах, при создании автопараметрического фильтра — устройства для ослабления атмосферных помех при радиоприеме, которое было успешно применено на радиостанциях в Тифлисе и Баку.

Явление резонанса второго рода интересно и с теоретической точки зрения, так как при его изучении были применены периодические решения второго рода Пуанкаре. Теория, развитая на основе математических методов Пуанкаре, позволила не только разобраться в особенностях резонанса второго рода, но и описать обширную область колебательных явлений, имеющих место в регенеративных системах (самовозбужденных и не самовозбужденных) при воздействии на них переменной силы. Укажем лишь некоторые из данных явлений.

Как известно, при воздействии гармонически изменяющейся силы на сложную

⁷ Резонанс второго рода связан с теорией Пуанкаре о периодических решениях второго рода (отсюда и название данного явления). Из теории Пуанкаре следует, что в нелинейных системах могут происходить периодические колебания с периодом, кратным периоду действующей силы.

(например, с двумя степенями свободы) линейную колебательную систему с постоянными параметрами резонанс в ней происходит лишь при совпадении частоты ω воздействующей гармоника с частотой ω_1 или ω_2 одного из собственных колебаний системы. При резонансе частота возникающих колебаний равна частоте ω воздействия. В случае сложной регенеративной системы при том же воздействии при определенных условиях наблюдается явление комбинационного резонанса. Оно состоит в том, что при $\omega = \omega_1 + \omega_2$ или $\omega = \omega_1 - \omega_2$ в колебательной системе возбуждаются оба собственных колебания ω_1 и ω_2 .

Исследования комбинационных резонансов, имеющих место в регенеративной системе с одной степенью свободы под действием двух гармонических ЭДС, а также в системе с двумя и более степенями свободы под действием одной ЭДС, были выполнены сотрудниками Л.И. Мандельштама и Н.Д. Папалекси: Б.И. Виленкиным, В.В. Мигулиным, Я.Л. Альпертом и др.

На основе теории резонанса n -го рода был сделан вывод о существовании в нелинейных колебательных системах при определенных условиях и других видов возбуждения. Прежде всего, следует отметить так называемые дробные резонансы (исследованы Ю.Б. Кобзаревым и В.В. Мигулиным). Для них характерно следующее соотношение частот:

$$\frac{\omega}{\omega_1} = \frac{2}{n},$$

где ω — частота внешней ЭДС; ω_1 — частота резонансных колебаний, близкая к собственной частоте колебательного контура.

Значительный интерес представляют также своеобразные резонансные явления в самовозбужденных регенеративных системах. К ним, например, относится явление «принудительной синхронизации частоты». Его сущность заключается в том, что под действием внешней гармонической ЭДС с частотой ω , частота автоколебаний системы становится точно равной $\frac{\omega}{p}$ ($p = 1, 2, 3, \dots$), если частота воздействия близка к основной частоте автоколебаний системы или ее обертому. Такое «увлечение» (или «принудительная синхронизация частоты») известно в механике еще со времен Х. Гюйгенса, который наблюдал синхронизацию часов, подвешенных на одну и ту же стену. Указанное явление используют для синхронизации частоты передатчиков и в измерительных целях [402].

В невозбужденной регенеративной системе при амплитуде воздействия больше определенной величины могут возникнуть интенсивные собственные колебания, независимо от частоты внешней ЭДС. Это явление, исследованное Л.И. Мандельштамом и Н.Д. Папалекси (и независимо Ю.Б. Кобзаревым), получило название асинхронного возбуждения. Оно имеет место лишь в определенных пределах величины обратной связи.

Открытие явления резонанса n -го рода стало возможным благодаря тому, что Л.И. Мандельштам и Н.Д. Папалекси проводили комплексное исследование нелинейных колебаний. Тем самым, формировалось особое, «нелинейное мышление». В этом контексте уместно привести фрагмент из статьи А.А. Андропова «Л.И. Мандельштам (1879–1944)»: «Великое множество инженеров и физиков снимали до Мандельштама и Папалекси резонансные кривые регенеративных приемников, т. е. задевали почти локтем резонанс n -го рода. Не владея нелинейным мышлением, они не искали это явление — и не находили» [59. Л. 15].

В течение первого периода работы в ЦРЛ Н.Д. Папалекси почти ежегодно (в 1923, 1926, 1927, 1928 гг.) ездил в командировки в Германию и Францию. Эти поездки сыграли значительную роль в распространении учения о нелинейных колебаниях. Помимо уже установленных связей со страсбургскими учеными и представителями компании «Телефункен», Н.Д. Папалекси познакомился с ведущими учеными в области радиотехники и теории колебаний: Г. Баркгаузенем, Б. Ван-дер-Подем, Ф. ле-Корбейе и др. Во второй период работы в ЦРЛ Л.И. Мандельштам и Н.Д. Папалекси продолжили заниматься изучением процессов в нелинейных колебательных системах, а также проводили работы по параметрическому генерированию колебаний и по созданию радиоинтерференционных методов.

В период с 1926 по 1935 гг. Н.Д. Папалекси руководил сектором нелинейных колебаний отдела научной радиотехники ЛЭФИ, в котором изучались особенности параметрического возбуждения колебаний (параметрического резонанса). Его описание приведено, в частности, в статьях [390; 389]. Важно отметить, Л.И. Мандельштам и Н.Д. Папалекси называли системы, в котором происходит резонанс n -го рода автопараметрическими, отличая их от классического параметрического резонанса,

который имел место в гетеропараметрических системах⁸.

Впервые гетеропараметрическое возбуждение в ламповой схеме (регенеративном контуре) было осуществлено в ЦРЛ в 1929 г. С 1931 г. вопросы гетеропараметрического возбуждения, осуществляемого посредством механического изменения параметров, разрабатывались в Н.Д. Папалекси и его сотрудниками в ЛЭФИ (рис. 22п). В лаборатории высокочастотной физики ЦРЛ проводились исследования автопараметрического резонанса, резонанса n -го рода и родственных ему явлений.

Рассмотрим работы Л.И. Мандельштама, Н.Д. Папалекси и их сотрудников в области параметрического возбуждения колебаний [247]. При параметрическом резонансе нарастание колебаний обусловлено не внешним воздействием, а периодическим изменением какого-либо параметра колебательной системы (например, емкости, индуктивности, длины маятника, натяжения струны). Это явление в физике известно уже давно. В 1859 г. немецкий ученый Ф. Мельде экспериментально показал, что периодически изменяя натяжение струны с периодом, равным половине периода ее собственных колебаний, можно привести ее в интенсивные поперечные колебания. Периодическое изменение натяжения струны осуществлялось с помощью вилки камертона, прикрепленной к ее свободному концу. На возможность существования подобных явлений в электрических колебательных контурах указывал еще лорд Рэлей, который в 1883 г. дал правильное теоретическое объяснение опыта Мельде.

Для возбуждения в LCR -контуре параметрических колебаний необходимо определенным образом изменять либо его индуктивность L , либо емкость C . Уравнение происходящих в нем процессов можно представить в виде:

$$\frac{d^2u}{dt^2} + \Phi_1(t) \frac{du}{dt} + \Phi_2(t)u = 0. \quad (2)$$

Коэффициенты при втором и третьем членах уравнения (2), зависящие от параметров контура, будут некоторыми функциями времени $\Phi_1(t)$ и $\Phi_2(t)$. При этом для исследования системы с периодически изменяющимися коэффициентами и с затуханием

⁸ «Мы по аналогии с терминами «автодин» и «гетеродин», — пишет Папалекси, — будем называть явления, сопровождающие возбуждение сильных колебаний при настройке нелинейной системы в унтертон действующей силы, «автопараметрическими», а явления параметрического возбуждения в собственном смысле слова — «гетеропараметрическими» [384. С. 117].

достаточно найти решение уравнения с периодическими коэффициентами для той же системы без затухания. В этом случае исследуемое уравнение будет относиться к так называемым уравнениям Матьё (они являются частным случаем уравнения Хилла):

$$\frac{d^2v}{dt^2} + \Phi(t)v = 0, \quad (3)$$

где $\Phi(t)$ — периодическая функция времени.

Опуская математические преобразования, можно прийти к выводу, что решением уравнения (3) является выражение $v(t) = e^{\lambda t} \varphi(t)$, в котором $\varphi(t)$ — периодическая функция периода. Изменение функции $v(t)$ за период τ характеризуется постоянным множителем: $\alpha = e^{\lambda \tau}$. От численного значения α зависит ход процесса в колебательной системе. Если $\alpha = 1$, колебания происходят с постоянной амплитудой, при $\alpha > 1$ — их амплитуда увеличивается, а при $\alpha < 1$ — уменьшается. Тем самым, условием параметрического возбуждения колебаний является $\alpha > 1$. Режим колебательной системы будет зависеть от параметров M (коэффициента модуляции параметра) и Ω (круговой частоты модуляции параметра).

На рис. 3 показаны области параметрического возбуждения колебаний на плоскости $(\frac{\omega_0}{\Omega}, M)$. При бесконечно малом коэффициенте M условия возбуждения выполняются при дискретных значениях отношения собственной частоты контура к частоте модуляции параметра: $\frac{\omega_0}{\Omega} = \frac{1}{2}, 1, \frac{3}{2}, 2, \dots$. Наибольшей шириной обладает первая область, соответствующая частоте модуляции параметра, вдвое большей собственной частоты контура. С увеличением отношения $\frac{\omega_0}{\Omega}$ эти области сужаются, становятся более ограниченными.

Итак, если в реальной колебательной системе периодически изменять один из ее параметров, например, длину маятника или емкость конденсатора колебательного контура, то при настройке частоты собственных колебаний системы на частоту половинную, равную или кратную частоте изменения параметра, в ней при любом начальном возмущении должны возникнуть нарастающие колебания.

По своим свойствам параметрический резонанс принципиально отличается от классического (гармонического) резонанса.

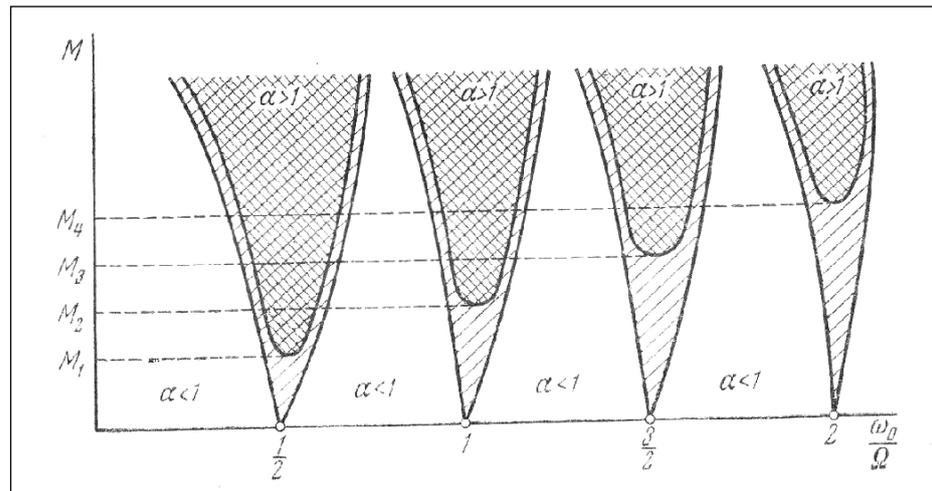


Рис. 3. Области параметрического возбуждения (заштрихованные участки). $M_1, M_2, M_3, M_4, \dots$ — минимальные значения коэффициента модуляции для различных областей

Во-первых, частота возбуждения параметрических колебаний лишь при втором параметрическом резонансе равна частоте воздействия. В случае же первого или основного параметрического резонанса частота возбужденных колебаний равна половине частоты воздействия.

Во-вторых, область возбуждения параметрического резонанса, в отличие от гармонического резонанса, резко ограничена. Для того чтобы получить представление о форме кривой параметрического резонанса, приведем одну из экспериментальных кривых. При обычном резонансе наблюдается постепенное изменение амплитуды с частотой, обуславливающее плавный подъем и спад резонансной кривой. При параметрическом резонансе возбуждение происходит в ограниченном интервале частот, и на границе этого интервала происходит резкое скачкообразное изменение амплитуды. Наглядное сравнение обычной и параметрической резонансных кривых дает рис. 23п.

В-третьих, параметрический резонанс имеет место в том случае, когда величина коэффициента M , достигает определенного значения. Иначе говоря, для параметрического возбуждения существует порог величины воздействия.

В-четвертых, установившиеся параметрические колебания не гармоничны, а содержат явно выраженные гармоники.

Осуществление параметрического резонанса в электрических колебательных системах послужило основой для создания генераторов переменного тока нового типа. В отсутствие специальных магнитных или электрических полей в них происходит преобразование механической энергии, затрачиваемой на периодическое изменение

самоиндуктивности (или емкости), в электрический ток. Эти, так называемые параметрические генераторы переменного тока, были разработаны под руководством Л.И. Мандельштама, Н.Д. Папалекси и их учеников.

На рис. 24п, *а* показано осевое сечение конструкции, обеспечивающей периодическое изменение самоиндуктивности (данный термин используется в работах Л.И. Мандельштама и Н.Д. Папалекси; речь идет об индуктивности), а на рис. 24п, *б* — фотография параметрического генератора, позволяющего получить параметрические колебания с частотой около 300 Гц и мощностью до 100–150 Вт.

В первых опытах коэффициент M был не очень велик (0,2–0,4), поэтому удалось возбудить параметрический резонанс лишь в первой области неустойчивости (первый или основной параметрический резонанс). Впоследствии, благодаря достижению значений $M > 0,5$, был получен и изучен второй параметрический резонанс, происходящий при $\frac{\omega_0}{\Omega} = 1$.

Параметрические генераторы переменного тока отличаются от обычных генераторов отсутствием обмоток возбуждения или постоянных магнитов и наличием в их цепи емкости. Простота конструкции, существенная экономия активных материалов (особенно меди), а также специфические особенности внешних рабочих характеристик делают данные машины особенно пригодными в тех случаях, когда требуется применять переменный ток повышенной частоты (500 Гц и выше).

Впервые гетеропараметрическое возбуждение колебаний путем периодического изменения индуктивности было осуществлено в секторе нелинейных колебаний ЛЭФИ в 1931 г. (И.М. Борушко). Кроме того, рассматривались особенности гетеропараметрического резонанса и специально вопрос о стабилизации амплитуды при помощи нелинейных нагрузок — ламп накаливания, дросселей с железом. В 1932 г. было получено гетеропараметрическое возбуждение колебаний в результате периодически изменяющейся емкости (В.А. Лазарев). В течение последующих двух лет гетеропараметрическое возбуждение изучалось как экспериментально, так и теоретически, при этом было построено несколько моделей параметрических машин. В этих исследованиях и разработках принимали участие И.М. Борушко, В.В. Мигулин, В.П. Гуляев, А.Г. Рзянкин, В.П. Лазарев и др. Однако в этот период произошли организационные изменения. В 1936 г. в связи с реорганизацией ЛЭФИ Н.Д. Папалекси перешел со своей лабораторией в научно-исследовательский сектор ЛИИ. Исследования

в области параметрических машин проводились также в ЭНИН АН СССР, где была создана специальная лаборатория. В ней под руководством Н.Д. Папалекси работали всего двое сотрудников А.М. Мартынов и Р.П. Жежерин.

К 1935 г. стал весьма актуальным вопрос о создании промышленных образцов параметрических генераторов. В ЛИИ, а затем в ЭНИН при непосредственном участии Н.Д. Папалекси было сконструировано несколько моделей параметрических альтернаторов мощностью от 300 Вт до 2–3 кВт⁹ (А.М. Мартынов). Кроме того, было получено параметрическое возбуждение на комбинационных частотах, осуществлено обращение параметрического альтернатора, т. е. его работа в качестве электромотора. Н.Д. Папалекси разработал теорию такого мотора и показал, что он может вращаться с угловой частотой, равной разности частоты питающего тока и собственной частоты колебательного контура. Благодаря этому скорость вращения можно плавно изменять, варьируя настройки контура.

Лабораторные исследования в области параметрического возбуждения колебаний продолжались во время эвакуации АН во время Великой отечественной войны. В частности, были подробно изучены рабочие характеристики однофазного генератора и разработаны методы его технического расчета (Р.П. Жежерин). Опыты подтвердили преимущества параметрических машин при использовании их в качестве источников питания для радиостанций. Небольшая параметрическая машина с ручным приводом, питающая кварцевую лампу, была отправлена на фронт¹⁰.

В результате исследований Л.И. Мандельштама, Н.Д. Папалекси и их учеников был разработан принципиально новый, нелинейный подход к таким явлениям, как резонанс 2-го рода, асинхронное возбуждение, параметрическая регенерация, комбинационный резонанс, принудительная синхронизация частоты и др. Значительный вклад в развитие данного подхода внесли Л.И. Мандельштам и его ученики в МГУ.

⁹ Впоследствии эту работу продолжил В.П. Вологдин, построивший вместе со своими сотрудниками параметрическую машину для высокочастотной закалки мощностью 100 кВт.

¹⁰ Однако практическое применение параметрические устройства получили в 1950-е гг., когда были разработаны полупроводниковые параметрические диоды, емкость которых зависит от приложенного запирающего напряжения, и были изучены свойства сегнетоэлектриков (конденсатор с сегнетоэлектриком — переменная емкость), ферритов и сверхпроводников (переменная индуктивность).

Личные качества Л.И. Мандельштама, его многогранный талант ученого, педагога и инженера, широта и глубина физических идей позволили ему создать большую и эффективную научную школу в МГУ [401; 511; 170]. Наиболее плодотворный период ее деятельности охватывает 1925–1944 гг.

В 1925 г. Л.И. Мандельштам был приглашен в МГУ в качестве заведующего кафедрой теоретической физики. Он с большим энтузиазмом принял это приглашение и переехал в Москву. Л.И. Мандельштам также стал действительным членом Института физики кристаллографии¹¹ при университете. Параллельно он продолжал вместе с Н.Д. Папалекси вести научно-исследовательскую деятельность в области радиотехники в ЦРЛ. Приходу Л.И. Мандельштама в МГУ предшествовало письмо Г.С. Ландсберга, отправленное ему в Петроград (в то время он работал в ЦРЛ).

Приведем выдержку из этого документа. «Только появление такого лица, как Вы, может положить начало формированию кружка людей, желающих и могущих работать, положит конец бесконечным интригам, совершенно пропитавшим всю почву института. Есть немалая группа студентов, жаждущих настоящего научного руководства и, несмотря на свою молодость, уже разочаровавшихся в теперешних руководителях института» [Цит. по: 337].

К группе студентов-энтузиастов относятся А.А. Андронов, А.А. Витт, М.А. Леонтович, С.Э. Хайкин, С.П. Шубин. Несмотря на существовавшие трудности¹², Л.И. Мандельштам сумел развернуть (при поддержке Б.М. Гессена — директора НИИФ МГУ) масштабные научные исследования и привлечь к ним группу молодых специалистов, составивших ядро его научной школы. К ним относятся: А.А. Андронов, А.А. Витт, Г.С. Горелик, М.А. Дивильковский, Г.Д. Малюжинец, В.В. Мигулин, С.М. Рытов, П.А. Рязин, С.П. Стрелков, К.Ф. Теодорчик, С.Э. Хайкин, И.М. Борушко, К.Э.

¹¹ Этот институт был создан при МГУ в 1922 г., а в 1928 г. — он был переименован в НИИФ. В 1938 г. НИИФ был введен в состав физического факультета МГУ. В 1954 НИИФ был ликвидирован, его лаборатории вошли в состав кафедр физического факультета МГУ.

¹² В это время на физическом факультете МГУ активную борьбу с идеализмом в физике, квантовой механикой и теорией относительности вели А.К. Тимирязев, А.А. Максимов и ряд других физиков-патриотов МГУ. Кроме того, после ухода П.Н. Лебедева и его учеников из МГУ московская школа физиков в значительной степени утратила свой высокий научный статус.

Виллер, В.П. Гуляев, Э.М. Рубчинский, Е.Я. Щеголев, Г.С. Ландсберг, П.А. Бажулин, М.А. Леонтович, И.Е. Тамм, С.П. Шубин, М.А. Исакович, С.И. Воскобойников и др.

Представители научной школы Л.И. Мандельштама работали в основном по трем исследовательским программам: теории нелинейных колебаний и применению ее методов в радиофизике¹³; оптике и спектроскопии; теоретической физике. В каждой из них были получены весомые научные результаты. Нас, прежде всего, будет интересовать первая из указанных исследовательских программ. В ее рамках ставилась задача разработать нелинейные концепции, которые позволили бы разобраться в широком круге нелинейных явлений и процессов, а также разработать математический аппарат теории нелинейных колебаний.

Л.И. Мандельштам и его ученики предложили новый подход к исследованию процессов в нелинейных колебательных системах, введя и обосновав новые понятия, терминологию, расчетные методы. Не меньшее значение имели и полученные научной школой Л.И. Мандельштама результаты в этом направлении. Их описание приведено в статье Н.Д. Папалекси, А.А. Андронова, Г.С. Горелика и С.М. Рытова «Обзор исследований в области нелинейных колебаний, проведенных в СССР, начиная с 1935 г.» [393]. Приведем наиболее важные теоретические идеи и методы, которые были использованы при изучении нелинейных колебательных систем.

- Качественная (топологическая) теория дифференциальных уравнений А. Пуанкаре.

С ее помощью удалось получить геометрические образы различных типов движений динамических систем. К ним, например, относится предельный цикл, изображающий в фазовом пространстве установившиеся колебания. Исследование автоколебаний с помощью качественной теории дифференциальных уравнений привело к введению понятия «грубая система» (работы А.А. Андронова, Л.С. Понтрягина).

- Методы исследования устойчивости движения, основанные на работах А.М. Ляпунова.

¹³ В конце 1920-х — начале 1930-х гг. исследования в области теории нелинейных колебаний велись под общим методологическим руководством Л.И. Мандельштама в НИИФ МГУ и ФИАН, ЦРЛ, ЛЭФИ и ЛИИ, ГИФТИ и были тесно связаны между собой, составляя, фактически, одно научное направление.

Важнейшим достижением А.М. Ляпунова стало создание теории устойчивости и движения механических систем, определяемых конечным числом параметров. А.А. Андронов в работе «Предельные циклы Пуанкаре и теория колебаний» (опубликована в 1929 г.) установил связь между теорией генерации колебаний и теорией устойчивости А.М. Ляпунова, ввел понятие и математическое определение автоколебаний, разработал их теорию, связав ее с качественной теорией дифференциальных уравнений А. Пуанкаре, с топологией и с общей теорией устойчивости движения. Тем самым, был заложен теоретический фундамент теории нелинейных колебаний, основным методом которой стал разработанный А.А. Андроновым метод точечных отображений. Результаты его работ мы обсудим в следующем параграфе.

- Метод малого параметра.

Ученики Л.И. Мандельштама А.А. Андронов и А.А. Витт показали, что для количественного расчета автоколебаний, близких по своей форме к синусоидальным, может быть использован метод разложения в ряд по степеням малого параметра. Данный метод был разработан А. Пуанкаре для исследования периодических решений задачи трех тел в небесной механике. С помощью метода малого параметра и теории устойчивости А.М. Ляпунова А.А. Андронов и А.А. Витт разработали теорию некоторых нелинейных явлений (например, явления захватывания).

- Метод ММА.

Л.И. Мандельштам и его ученики теоретически обосновали использование метода ММА для нахождения решения дифференциальных уравнений второго порядка, содержащих нелинейную функциональную зависимость (с малыми нелинейными членами) от обобщенных характеристик (скорости и координаты) движения изучаемой системы. В частности, на основе данного метода анализировались стационарные и переходные процессы в автогенераторах.

- Метод припасовывания (или метод кусочно-линейной аппроксимации).

Как уже отмечалось, этот метод был впервые применен Н.Д. Папалекси при рассмотрении задачи о выпрямителе. Метод припасовывания оказался особенно эффективным при изучении колебательных систем, движения в которых нельзя считать приближенно синусоидальными. Такие физические объекты представляют значительный интерес для теории автоматического регулирования, разработанной А.А. Андроновым и его учениками.

Благодаря использованию указанных количественных и качественных методов были рассмотрены вопросы, связанные с поведением нелинейной регенеративной системы под действием внешней гармонической ЭДС. В частности, удалось решить вопрос о существовании порога захватывания. К одному из важнейших результатов также относится формулировка условий скачка. Они были положены в основу теории разрывных колебаний и позволили А.А. Андронову, А.А. Витту и С.Э. Хайкину провести анализ процессов в мультивибраторе и других релаксационных системах.

Резюмируя, отметим, что Л.И. Мандельштамом и его учениками¹⁴ были разработаны: математический аппарат, адекватный различным задачам теории нелинейных колебаний, ее нелинейные понятия, а также методы решения конкретных радиофизических проблем. Такие результаты стали возможными, как отмечает В.В. Мигулин, «благодаря тому общему подходу к колебательным явлениям, который был развит Л.И. Мандельштамом. Эти идеи послужили фундаментом для всего дальнейшего развития работ созданной им школы теории колебаний, заслужившей мировое признание своими исследованиями нелинейных колебательных систем не только в радиотехнике, но и в механике, акустике и теории регулирования» [343. С. 52].

Итоги работ в области теории нелинейных колебаний составили содержание доклада Н.Д. Папалекси на I Всесоюзной конференции по колебаниям, состоявшейся в Москве в 1931 г. Л.И. Мандельштам выступил на ней с докладом о новом научном направлении в теории колебаний. «Острее, чем кто-либо до него, Л.И. видит пропасть, отделяющую нелинейные задачи от привычных линейных, — отмечали его ученики. — Он подчеркивает необходимость не только решения отдельных задач, но и создания наряду с линейной колебательной культурой новой, нелинейной колебательной культуры, включающей надежный математический аппарат и физические

¹⁴ Наряду с работами научных школ Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси и А.А. Андронова разработка математических методов теории нелинейных колебаний была выполнена Н.М. Крыловым, Н.Н. Боголюбовым, Ю.Б. Кобзаревым, К.Ф. Теодорчиком. Выдающийся советский математик, академик АН СССР Н.М. Крылов и его ученик, академик РАН Н.Н. Боголюбов стояли у истоков киевской школы нелинейной механики. Ее участниками изучались асимптотические методы усреднения, базирующиеся на классических методах теории возмущений и представляющие собой их обобщение на неконсервативные колебательные системы.

представления, адекватные новым задачам, выработку нелинейной интуиции, годной там, где оказывается непригодной интуиция, выработанная на линейных задачах» [5. С. 36]. В 1933 г. в Париже состоялась I Международная конференция по нелинейным колебаниям (рис. 25п). От СССР на нее были приглашены Л.И. Мандельштам, Н.М. Крылов, Н.Д. Папалекси, А.А. Андронов и А.А. Витт. Однако принять участие в конференции смог лишь Н.Д. Папалекси. Он выступил с докладом об исследованиях, выполненных совместно с Л.И. Мандельштамом и их учениками в этой области.

По предложению Б. Ван-дер-Поля Л.И. Мандельштам и Н.Д. Папалекси составили вместе с рядом соавторов обзор результатов, полученных в области теории нелинейных колебаний, и представили его в виде доклада Конгрессу Международного научного радиотехнического союза (URSI), который состоялся в Лондоне в 1934 г. В расширенном виде этот обзор был издан в 1936 г. под названием «Новые исследования нелинейных колебаний» [336].

В 1934 г. произошло разделение Физико-математического института АН СССР (который находился в Ленинграде) на два учреждения: Математический институт им. В.А. Стеклова и ФИАН, который в 1934 г. был переведен в Москву. С.И. Вавилов (тогдашний директор института) планировал создать широкопрофильное научное учреждение, в котором изучались бы магистральные направления современной физики под руководством первоклассных специалистов. Вскоре в ФИАН были открыты: лаборатория атомного ядра (Д.В. Скобельцын), лаборатория колебаний (Н.Д. Папалекси), лаборатория физической оптики (Г.С. Ландсберг), лаборатория люминесценции (С.И. Вавилов), лаборатория спектрального анализа (С.Л. Мандельштам), лаборатория физики диэлектриков (Б.М. Вул), лаборатория теоретической физики (И.Е. Тамм), лаборатория акустики (А.А. Андреев). С 1934 по 1937 гг. в состав института входила также лаборатория поверхностных явлений, которую возглавил П.А. Ребиндер.

Научной основой своего института С.И. Вавилов сделал школу Л.И. Мандельштама. С 1934 г. Л.И. Мандельштам начал совмещать преподавание в МГУ с активной работой в ФИАН¹⁵. На него было возложено общее научное руководство

¹⁵ Фактически, ему удалось заново создать московскую школу физиков. При участии Л.И. Мандельштама в октябре 1930 г. в МГУ был организован физико-механический факультет, в состав которого входили физико-механическое, математическое и астрономо-геодезическое

лабораторией колебаний и лабораторией физической оптики. В 1934–1947 гг. Н.Д. Папалекси руководил лабораторией колебаний ФИАН. В ней развернулись работы по исследованию распространения радиоволн и разработке радиоинтерференционных методов. Радиоинтерференционные методы измерения расстояний основаны на использовании явления интерференции двух (или нескольких) радиоволн, распространяющихся между пунктами, расположенными один от другого на измеряемом расстоянии. Обсудим результаты, полученные Л.И. Мандельштамом, Н.Д. Папалекси и их учениками в этом научном направлении. Их описание приведено в статьях [342; 387; 332].

Для начала сделаем небольшой исторический экскурс. Исследованием распространения радиоволн занимались многие выдающиеся физики и математики. Среди них А. Пуанкаре, Б. Ван-дер-Поль, Г. Вейль, Г. Ватсон, Б.А. Введенский, М.А. Леонтович, В.А. Фок и др. В 1907 г. И. Ценнек предложил концепцию поверхностных волн. В 1909 г. А. Зоммерфельд привел строгое математическое решение задачи о распространении электромагнитных волн вдоль плоской однородной поверхности Земли от излучающего источника, находящегося на ней. Однако на основе решения А. Зоммерфельда был сделан неправильный вывод о мнимой зависимости скорости распространения волны от свойств земной поверхности. Кроме того, оставалась неясной физическая картина распространения волн вдоль неоднородной поверхности: над пересеченной местностью, при переходе с суши на море и т. д.

Как отмечал Л.И. Мандельштам, «возможность весьма точного измерения частоты генерируемых и излучаемых колебаний позволяет в радиодиапазоне при осуществлении различных вариантов радиоинтерферометров решать задачи, недоступные оптической интерферометрии, и наряду с исследованием распространения радиоволн, решать также ряд практических задач» [342. С. 668].

В радиоинтерферометрии на основе знания точного значения частоты и возможности проведения фазовых измерений можно изучать фазовую структуру радиоволн, выполнять измерение их скорости, а при определении этих величин — вычислять необходимые расстояния. Теоретический анализ показывает, что расстояние D , которое в геодезических исследованиях является искомой величиной, связано с

отделения, а в июле 1931 г. — самостоятельное физическое отделение, преобразованное в 1933 г. в физический факультет.

измеряемым полным фазовым углом Ψ следующим соотношением:

$$\Psi = Z\Theta + \psi = \frac{720^\circ}{v} fD + \varphi(f, D, \sigma, \varepsilon),$$

где f — частота применяемых радиоволн (в Гц); v — скорость распространения радиоволн в воздухе; Z — число полных фазовых циклов θ ; ψ — непосредственно получаемая из измерений часть фазового цикла; $\varphi(f, D, \sigma, \varepsilon)$ — «дополнительная» фаза, обусловленная в основном тем, что распространение радиоволн происходит не в свободном пространстве, а вдоль поверхности Земли, и находящаяся в диапазоне между 180° и 90° , σ и ε — проводимость и диэлектрическая постоянная почвы.

Основными вариантами радиоинтерференционных методов, которые позволяют определить как D , так и Z , являются:

- метод изменения частот (или метод радиодальномера), в котором непосредственно определяется изменение числа Z полных фазовых циклов при изменении масштаба волны (при плавном переходе от одной фиксированной известной частоты к другой).

- метод передвижения (метод радиолога), в котором определяется изменение полного фазового угла (или изменение расстояния в длинах волн) при плавном передвижении одного из пунктов относительно другого.

- метод фазового зонда, при котором фазовое поле создается двумя неподвижными станциями, расположенными на расстоянии друг от друга, а подвижный объект определяет свое положение по разности хода волн от каждой из этих станций.

Работа над созданием радиоинтерференционных методов была начата в 1930 г. в лаборатории высокочастотной физики ЦРЛ и при активном участии Е.Я. Щеголева. В течение нескольких лет была разработана методика измерений и сконструирована первая радиоинтерференционная аппаратура. Благодаря интересу, который проявили к этим исследованиям П.А. Кобозев и О.Г. Дитц, к данному научному направлению подключились сотрудники ЦНИИГАиК А.И. Грузинов и Л.Е. Миндлин. Одним из первых практических применений разработанных методов стало определение скорости распространения радиоволн вдоль земной поверхности¹⁶. Первая проверка радиоинтерференционного метода (на расстоянии 12 км) была проведена в 1932 г.

¹⁶ Отметим, что в 1932–1933 гг. отсутствовали точные экспериментальные данные о скорости радиоволн при их свободном распространении вдоль поверхности Земли.

Создание аппаратуры, методов измерения разностей фаз (сначала колебаний с одинаковыми частотами, а затем с частотами, находящимися в рациональном отношении), методов контроля девиации фазы и др. происходило на экспериментальной базе в г. Луге (под Ленинградом). В этой работе участвовали И.М. Борушко, Е.Я. Щеголев, К.Э. Виллер.

С 1933 г. к разработке радиоинтерференционной аппаратуры подключились некоторые сотрудники лаборатории Н.Д. Папалекси в ЛЭФИ (в частности, В.В. Мигулин). В 1934 г. под Ленинградом были проведены испытания радиоинтерференционного метода на различных расстояниях, во время которых изучалась фазовая структура поля радиоволн с помощью сконструированных В.В. Мигулиным сдвоенного приемника (радиозонда) и измерения дисперсии радиоволн.

Выполненные в период с 1934 по 1941 гг. экспедиционные и полевые исследования в Подмоскowie (Павловская Слобода, Звенигород), Ленинградской области, на Черном, Белом и Карском морях, у озера Ильмень, в Пятигорске на Северном Кавказе (рис. 26п), в степных районах северного Крыма и Поволжья предоставили ценный экспериментальный материал. Он касался как физической природы распространения радиоволн вдоль суши и морской поверхности, так и определения возможностей и методики использования радиоинтерференции для решения навигационных, гидрографических и геодезических задач.

В проведении этих работ активное участие принимали Н.Д. Папалекси, Е.Я. Щеголев, И.М. Борушко, К.Э. Виллер, сотрудники лаборатории колебаний ФИАН П.А. Рязин, В.В. Мигулин, Я.Л. Альперт, геодезисты ЦНИИГАиК и др. Любопытно, что В.В. Мигулин и Я.Л. Альперт для выполнения экспериментальных изысканий неоднократно совершали полеты на аэростатах.

Значение достигнутых научных результатов трудно переоценить. С непревзойденной до того времени точностью (до $3 \cdot 10^{-4}$ над морем и до $6 \cdot 10^{-4}$ над ровной сушей) была измерена скорость распространения радиоволн. Кроме того, были установлены следующие факты (вопреки неверным выводам из теории Зоммерфельда): независимость скорости волны от физических свойств почвы, ограниченность влияния поверхности земли на фазовое поле радиоволн. При этом скорость распространения радиоволн над земной поверхностью с большой точностью равна скорости распространения в свободном пространстве (воздухе).

Цикл работ, выполненный Л.И. Мандельштамом, Н.Д. Папалекси и их учениками в области радиоинтерферометрии, можно охарактеризовать рядом важнейших результатов.

- Значительный вклад в теорию распространения радиоволн вдоль земной поверхности.
- Определение скорости их распространения в реальных условиях.
- Использование радиоинтерференционных методов в геодезии, навигации и гидрографии.
- Эффективность радиоинтерференционных методов, с одной стороны, и требования, выдвинутые развивающейся радиоинтерферометрией, с другой, сделали актуальным решение ряда новых теоретических задач. В работах В.А. Фока, М.А. Леонтовича, Г.А. Гринберга и Е.Л. Фейнберга была рассмотрена береговая рефракция, созданы новые методы изучения распространения радиоволн, сочетающие достаточную точность с физической наглядностью и математической простотой, решена задача о дифракции радиоволн вокруг сферической Земли.

После того как первые опыты по измерению расстояний радиоинтерференционным способом дали положительные результаты, Гидрографическое управление Главсевморпути заказало ЦРЛ комплект радиодальномеров МПЩ (название образовано по начальным буквам фамилий Мандельштам, Папалекси, Щеголев). Приведем пример успешного использования данного радиодальномера.

В 1937 г. экипаж ледокольного парохода «Георгий Седов» проводил гидрографические работы в области Карского моря и моря Лаптевых [68]. Экспедиция выполняла промеры открытого моря, съемку береговой линии, что необходимо для составления морских карт. Для проведения исследований необходимо точно знать координаты судна в момент измерений расстояний. Однако в Арктике в период полярного дня Солнце часто закрыто облаками, звезд не видно, что осложняет локацию судна. С помощью радиодальномера удалось определять расстояния до 250 км с большой точностью и ускорить выполнение гидрографических работ.

Цикл работ по радиоинтерферометрии, выполненный научной школой Мандельштама — Н.Д. Папалекси, стал выдающимся достижением в области радиофизики. Практические применения радиоинтерференционных методов в геодезии

и навигации были впервые реализованы в нашей стране. Известно, что после Великой Отечественной войны проводка тральщиков, вылавливавших мины в некоторых портах Черного моря, производилась с помощью радиоинтерференционного прибора типа «фазового зонда». В настоящее время радиоинтерференционные методы применяют в исследованиях ионосферы и магнитосферы, для реализации систем наблюдения и контроля параметров орбит ИСЗ, создания глобальных радионавигационных систем, решения задач локальной радионавигации, геодезии и гидрографии.

В 1931 г. Н.Д. Папалекси был избран членом-корреспондентом АН СССР (Л.И. Мандельштам был удостоен этого звания в 1928 г.), и с этого времени его научная деятельность была тесно связана с АН. Н.Д. Папалекси был утвержден председателем группы технической физики ОТН АН СССР, а в 1938 г. стал заместителем председателя Научного совета (председатель Л.И. Мандельштам) по радиофизике и радиотехнике при АН СССР. Он был назначен также председателем специальной Комиссии по изучению прохождения радиоволн в Арктике. Создание комиссии было обусловлено необходимостью поддерживать надежную радиосвязь с советской экспедицией в районе Северного полюса. Вся эта активная научно-организационная деятельность не снижала высокого темпа научной работы Н.Д. Папалекси. В 1939 г. он был избран действительным членом АН СССР, что стало признанием его выдающихся научных и практических достижений. Л.И. Мандельштам был удостоен этого академического звания в 1929 г.

В годы Великой Отечественной войны Н.Д. Папалекси с удвоенной энергией взялся за создание экспериментальной базы под Казанью, куда был эвакуирован ФИАН. Именно там им был испытан макет одного из радиоинтерференционных устройств — фазового зонда. По возвращении в Москву Н.Д. Папалекси заинтересовался проектом Гидрографического управления ВМФ по обеспечению гидрографических исследований радиоинтерференционными методами. В результате совместной работы сотрудников ФИАН со специалистами ЦНИИГАиК при активном участии Н.Д. Папалекси в одном из отраслевых институтов СССР был создан промышленный образец радионавигационного устройства. При этом группа квалифицированных радиоинженеров приобрела ценный практический опыт.

В годы войны Н.Д. Папалекси также участвовал в планировании оборонных исследований АН СССР, возглавлял работу Радиосовета, выступал с научными

докладами, опубликовал книгу о радиопомехах и продолжал руководить лабораториями в ФИАН и ЭНИН.

В 1942 г. Н.Д. Папалекси встретился с Л.И. Мандельштамом в Боровом¹⁷, и здесь у них зародилась идея о радиолокации Луны. В результате теоретических расчетов Н.Д. Папалекси показал реальность такого эксперимента при имеющихся в то время технических средствах [388]. Тем самым, он предвосхитил развитие радиолокации — одного из важнейших разделов современной радиофизики. В 1946 г. подобный опыт был независимо друг от друга осуществлен Дж. де Виттом (США), З. Баем (Венгрия) и их сотрудниками.

В последние годы жизни Н.Д. Папалекси со свойственной ему энергией приступил к исследованию радиоизлучения Солнца. Н.Д. Папалекси отмечал: «Есть все основания думать, что с применением радиометодов для астрономии откроется новая эра, которую по ее значимости можно сравнить с открытием фраунгоферовых линий и применением спектроскопии в астрофизике и которая поможет еще глубже проникнуть в тайны мироздания» [446. С. 550].

Н.Д. Папалекси пришла в голову идея осуществить наблюдение радиоизлучения Солнца во время его продолжительного полного затмения 20 мая 1947 г., полоса которого проходит через Бразилию. Однако бразильская экспедиция (о ней мы расскажем в главе 5) была осуществлена уже без Н.Д. Папалекси, так как в период ее подготовки он ушел из жизни (3 февраля 1947 г.). До последнего дня своей жизни он активно работал: по-прежнему руководил лабораторией колебаний ФИАН, возглавлял Радиосовет, выступал с докладами, писал статьи, посвященные эволюции понятия о резонансе и нелинейным колебаниям, начал, но не успел закончить биографию Л.И. Мандельштама для сборника его научных трудов.

Что касается Л.И. Мандельштама, то после возвращения в Москву из эвакуации он возобновил научную и педагогическую деятельность. Его лекции по колебаниям в МГУ собирали большое количество слушателей, среди которых были не только студенты, но и профессора и крупные ученые. Несмотря на болезненное состояние, Л.И. Мандельштам много времени уделял молодежи, обращавшейся к нему за советами и консультациями. Не отказался он также взять на себя тяжелый труд по подготовке

¹⁷ Боровое — курортное место в Казахстане, куда в начале войны были эвакуированы академики со слабым здоровьем.

материалов к ознаменованию 50-летия изобретения радио. Он принял активное участие в подборе материалов для сборника «К предыстории радио» [227], сам редактировал переводы статей зарубежных ученых-радиотехников, написал предисловие, которое и стало его последней работой. Кроме того, Л.И. Мандельштамом был составлен доклад, посвященный 300-летию со дня рождения И. Ньютона, готовилась к печати научная биография лорда Рэлея. 27 ноября 1944 г. Л.И. Мандельштам ушел из жизни.

Становление научной школы. Формирование научной школы Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси напрямую связано с переломным этапом в развитии радиотехники — разработкой и внедрением ламповых устройств. Для их корректного расчета и проектирования требовалось создать системную и непротиворечивую теорию, идеи и методы которой охватили бы широкий круг радиотехнических вопросов. Именно Л.И. Мандельштам и Н.Д. Папалекси стали инициаторами создания такой теории. Ими были предложены фундаментальные принципы и идеи теории нелинейных колебаний, которые нашли применение в различных областях науки и техники. Разумеется, без активного привлечения к исследованиям сотрудников и учеников, Л.И. Мандельштаму и Н.Д. Папалекси было бы невозможно реализовать свой амбициозный план. Обсудим факторы, сыгравшие важнейшую роль в формировании их научной школы.

Во-первых, ее стиль в значительной степени обусловлен личными качествами и склонностями Л.И. Мандельштама и Н.Д. Папалекси. Так, математические способности и разносторонность интересов Л.И. Мандельштама проявились уже при обучении во 2-ой Одесской гимназии. В период обучения в Полтавской гимназии Н.Д. Папалекси живо интересовался естественными науками, выписывал книги по физике, математике и астрономии, вступил в Полтавский кружок любителей физико-математических наук. Отсюда можно сделать вывод, что у обоих руководителей будущей научной школы достаточно рано обнаружилась предрасположенность к решению физических проблем, математических задач, естественнонаучным вопросам. Разумеется, это повлияло на широту тематики научных исследований, проводимых в их школе.

Во-вторых, становление Л.И. Мандельштама и Н.Д. Папалекси как ученых происходило в стенах Страсбургского университета под руководством К.Ф. Брауна. Будучи не только талантливым ученым, педагогом и лидером научной школы, он обратил внимание на исключительные профессиональные качества Л.И. Мандельштама. К.Ф. Браун предоставил ему творческую свободу для проведения научных

исследований. Тем самым, Л.И. Мандельштам смог максимально раскрыть свой творческий потенциал, познакомиться с актуальными вопросами радиотехники и принять активное участие в их решении.

Л.И. Мандельштам и Н.Д. Папалекси вспоминали, что «как учитель, Браун ... предоставлял каждому действовать согласно своей собственной индивидуальности, и следовать своим склонностям. При этом он с неослабным интересом следил за всеми работами и всегда оказывал поддержку советом и делом» [551. Р. 626].

Указанный стиль творческого взаимодействия был характерен и для научной школы Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси. Отметим, что, помимо К.Ф. Брауна, на их формирование как ученых повлияли заведующий кафедрой теоретической физики Э. Кон (автор известного курса «Электромагнитное поле»), математик Г. Вебер (ученик Б. Римана), специалист в области математики и прикладной механики Р. Мизес и др.

В-третьих, в Страсбургский период окончательно завершилось становление Л.И. Мандельштама как физика и, как писал Н.Д. Папалекси, «выявились все характерные черты его как ученого — глубокого теоретика и тонкого экспериментатора» [5. С. 13]. Уже тогда Л.И. Мандельштам «отличался особой остротой ума, глубиной и логичностью мысли, а также ясностью своих теоретических познаний» [Там же. С. 19]. Он активно работал над расширением своего научного кругозора, основательно изучая труды лорда Рэля «Теория звука», Х. Лоренца по классической электронной теории, Л. Больцмана «Кинетическая теория газов», сочинения Г. Гельмгольца, Г. Герца и других классиков физики. Особое влияние на него оказали научные труды Рэля. Его разносторонность, умения выполнить глубокий анализ, выделить существенную сторону исследуемого вопроса, наглядно и «выпукло» показать его физическую сущность, привести теорию, используя адекватный математический аппарат, вызывали в Л.И. Мандельштаме «особый резонанс, были ему конгениальны» [Там же. С. 10]. Кроме того, Л.И. Мандельштам уделял значительное внимание теории дифференциальных уравнений и теории вероятностей.

В Страсбургском университете Н.Д. Папалекси, помимо работ в области беспроволочной телеграфии, проводил опыты по наблюдению газового разряда, сопоставлению яркостей электрической искры и солнечного диска. Это способствовало развитию экспериментальных умений Н.Д. Папалекси, расширению его знаний в различных научно-технических направлениях. Впоследствии, работая в учебных

заведениях и научно-исследовательских центрах, он стал признанным авторитетом в широком круге вопросов.

В-четвертых, в Страсбургском университете основные усилия Л.И. Мандельштам сконцентрировал на изучении нелинейных колебательных систем. Это можно объяснить тем, что «во-первых, Л.И. Мандельштам остро чувствовал всю необходимость выработки нелинейного мышления, всю необходимость иметь руководящие нелинейные теоретические концепции, которые позволяли бы разбираться в сложных и разнообразных задачах и которые обладали бы способностью предсказывать новые нелинейные явления. Кроме того, Л.И. Мандельштам не менее остро чувствовал необходимость строгого математического рассмотрения хотя бы основных, наиболее простых, жизненно необходимых задач теории нелинейных колебаний...» [6. С. 41]. Как уже отмечалось, в Страсбургском университете Н.Д. Папалекси провел одно из первых исследований нелинейных колебательных систем и предложил один из методов будущей теории нелинейных колебаний. Таким образом, уже вначале своей научной деятельности Л.И. Мандельштам и Н.Д. Папалекси стали закладываться теоретические и прикладные основы их исследовательской программы.

В-пятых, Н.Д. Папалекси всегда уделял значительное внимание применению полученных им совместно с Л.И. Мандельштамом результатов. Именно Н.Д. Папалекси с присущей ему настойчивостью находил эффективные пути их реализации, освобождая, тем самым, Л.И. Мандельштама от этих забот. Например, К.Ф. Браун и Л.И. Мандельштам состояли научными консультантами фирмы «Телефункен», а Н.Д. Папалекси осуществлял контакты при проведении исследований и разработок.

По словам В.В. Мигулина, Н.Д. Папалекси «всегда искал и находил оправданную требованиями практики постановку научной проблемы и после решения принципиальных аспектов задачи доводил дело до реального применения полученных научных данных» [344. С. 520]. Итак, этот аспект сотрудничества Л.И. Мандельштама и Н.Д. Папалекси впервые ярко проявился в Страсбурге. Он был характерен для всего их научного творчества в области теории нелинейных колебаний и радиотехники.

Исследовательская программа научной школы. Л.И. Мандельштам, Н.Д. Папалекси и их ученики внесли основополагающий вклад в формирование и развитие теории нелинейных колебаний и ее методов, теоретическое обоснование различных видов резонанса, разработку радиоинтерференционных методов определения скорости

распространения радиоволн и измерения расстояний, изобретение параметрических генераторов. Деятельность их научной школы отличают высокий теоретический уровень и прикладная направленность полученных результатов.

Вместе с тем, можно выявить «руководящую идею», которая бы идеологически и методологически объединила работы этой научной школы. Ее исследовательскую программу можно сформулировать следующим образом. **Создание теории нелинейных колебаний и применение ее математического аппарата, методов и идей к решению различных задач радиотехники, формирование «нелинейного стиля мышления».**

На последнем аспекте исследовательской программы следует остановиться более подробно. Благодаря системному и широкому взгляду на нелинейную проблематику удалось не только объяснить известные нелинейные явления и процессы, но и предсказать ряд новых эффектов (например, резонанс n -го рода). Важно и то, что разработанный подход к исследованию нелинейных колебательных систем нашел дальнейшее развитие в работах учеников Л.И. Мандельштама и Н.Д. Папалекси, Нижегородской радиофизической школы и др.

Исследовательская программа научной школы Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси претерпевала изменения в связи с решением возникающих задач в области теории нелинейных колебаний. Эту эволюцию можно проследить по описанию результатов научной деятельности и публикациям Л.И. Мандельштама, Н.Д. Папалекси и их сотрудников.

Стиль руководства в научной школе. Наряду с научной и технической деятельностью Л.И. Мандельштам и Н.Д. Папалекси активно занимались преподаванием и подготовкой будущих научно-инженерных кадров.

Свои лекторские способности Л.И. Мандельштам проявил еще в Страсбургском университете при чтении лекций в период с 1907 по 1914 гг. Он тщательно готовился к лекциям и нередко сам придумывал необходимые демонстрационные установки. В 1907 г. Л.И. Мандельштам стал приват-доцентом кафедры физики Страсбургского университета. Темой пробной лекции им была выбрана «Электромагнитная теория Максвелла». В 1913 г. Л.И. Мандельштам получил звание профессора, и ему было поручено чтение курса прикладной физики в Страсбургском университете. Л.И. Мандельштам также читал курсы по различным вопросам физики: оптические свойства прозрачных тел, дисперсия, электро- и магнетооптика, явления резонанса и их роль в

физике, физические основы беспроводной телеграфии, кинетическая теория газов. В 1910 г. он прочитал курс телефонии и телеграфии для инженеров почтового ведомства, которые специализировались в этих областях.

Свою педагогическую деятельность Л.И. Мандельштам продолжил в Новороссийском университете. Блестящие лекции Л.И. Мандельштама, в которых он не только стремился предельно ясно изложить физические основы, но и наглядно продемонстрировать существенные стороны явлений, всегда собирали большую аудиторию. В этом учебном заведении Н.Д. Папалекси читал лекции по теоретической электротехнике, метеорологии, теории колебаний.

Второй период работы в ЦРЛ совпал и с новым этапом в педагогической деятельности Н.Д. Папалекси. С 1926 по 1935 гг. он преподавал в ЛПИ (впоследствии ЛПИИ), первоначально в качестве доцента, а затем — профессора. Н.Д. Папалекси читал курсы лекций по физике вакуума, по термоионным приборам и вел семинары по специальным вопросам радиотехники (генерация, модуляция и распространение радиоволн), которые посещали и преподаватели. Н.Д. Папалекси вел в ЛЭФИ семинар по нелинейным колебаниям и параметрическому резонансу. Таким образом, его преподавание было тесно связано с вопросами научно-исследовательской работы.

Как отмечал, представитель научной школы Л.И. Мандельштама и Н.Д. Папалекси, В.В. Мигулин, «в лекциях Николая Дмитриевича с исчерпывающей полнотой анализировались многие важные проблемы и в полной мере проявлялись его богатейший практический опыт и исключительная эрудиция. Проводимые им семинары были посвящены актуальнейшим проблемам современной радиотехники, и глубокий теоретический анализ каждый раз сопровождался всесторонним рассмотрением практических аспектов разбираемого вопроса» [344. С. 523].

Важнейшую роль в развитии теории нелинейных колебаний сыграли лекции и семинары Л.И. Мандельштама, проводимые им в МГУ¹⁸. Они собирали

¹⁸ Лекционные курсы и семинары, проведенные Л.И. Мандельштамом в МГУ в период с 1925 до 1944 г., охватили широкий круг физических вопросов — теорию электромагнитного поля, электронную теорию, теорию колебаний, оптику, статистическую физику, специальную теорию относительности и квантовую механику. Большую часть этих лекций и выступлений на семинарах удалось восстановить по записям слушателей, а в отдельных случаях — по стенограммам и по собственным конспектам и наброскам Л.И. Мандельштама. Этот материал

многочисленную и разнообразную аудиторию, в которой наряду со студентом можно было встретить профессора, наряду с физиком — математика и инженера [64]. Иногда лекции и семинары содержали новые научные результаты, которые ранее не были опубликованы. Однако еще большее их значение заключалось в формировании «нелинейного стиля мышления», в общем повышении «колебательной культуры». Как вспоминал участник семинаров Л.И. Мандельштама В.А. Фабрикант, «на семинаре царила атмосфера доброжелательного внимания к высказываниям любого участника, независимо от его научного "ранга"... Решающую роль в создании такой атмосферы доброжелательности и корректности играли личные качества Мандельштама. Каждая встреча с ним была для нас радостью. Когда по каким-либо причинам Леонид Исаакович отсутствовал на семинаре, студенты говорили: "чай без сахара" [215. 172].

Обычно Л.И. Мандельштам предварял доклад кого-либо из участников семинара несколькими краткими замечаниями, а после доклада — подводил итоги. Поразительными были его способность излагать сложные вопросы физики просто и доступно, а также умение обнаруживать сложности в простых на первый взгляд вопросах. Недаром в те годы у физиков появился термин «мандельштамовская ясность» [Там же].

Лекции Л.И. Мандельштама были яркой и наглядной демонстрацией самого процесса физического мышления. В них было видно, как физик «спотыкается о трудности, как на его пути накапливаются парадоксы и противоречия и как ему удается — иногда ценой умственного подвига, отказа от самых укоренившихся в человеческом мышлении привычек — высвободиться из противоречий и подняться на недоступную ранее высоту, откуда открываются новые горизонты. При этом каждая деталь в лекциях Л.И. Мандельштама была важной, в каждом вопросе он умел находить и доводить до аудитории «какую-то особую остроту и прелесть» [5. С. 51, 52].

Как отмечал один из слушателей лекций Л.И. Мандельштама С.П. Стрелков, «Л.И. в своих лекциях часто демонстрировал и убедительно доказывал примерами, как не критический перенос "рутинных" понятий на новые явления ведет к грубым ошибкам. Л.И. заставлял критически и вдумчиво относиться к анализу каждого нового факта... учил творчески познавать явление, учил изучать» [64. Л. 3].

составил содержание двух последних томов (IV и V) полного собрания научных трудов Л.И. Мандельштама.

Л.И. Мандельштам всегда умел найти общий язык со слушателями, изящно устранить сложности в понимании тех или иных физических вопросов. В совокупности это придавало его лекциям «эмоциональную насыщенность, благодаря которой все услышанное от Л.И. Мандельштама доходило до самых глубин сознания» [474. С. 103].

Г.С. Горелик отмечал, что «педагогический темперамент и талант Л.И. особенно ярко чувствовались ... на семинарах. Бывало докладчик хорошо и гладко излагает тот или иной раздел своей темы, но Л.И. не сидится на месте. Он деликатно спрашивает докладчика: Я вам не помешаю, если прерву на один момент и, выходя к доске, начинает свой комментарий... Сразу происходит какое-то магическое превращение — что было плоско, становится выпуклым, что было бледно — ярким и красочным» [191. С. 86]. Лекции и семинары Л.И. Мандельштама не утратили актуальности как по своему содержанию, так и по глубине трактовки рассматриваемых физических вопросов. Они являются примером высокого педагогического мастерства.

Однако после смерти Л.И. Мандельштама усилились идеологические нападки на него и его учеников (в период 1948–1953 гг. в нашей стране развернулась борьба против космополитизма в физике). Конкретным материалом для обвинений стали:

- книга С.Э. Хайкина «Что такое силы инерции» (1940 г.) и его учебник «Механика» (1947 г.), в которых он опирался на идеи Л.И. Мандельштама;
- двухтомный «Курс физики» под редакцией Н.Д. Папалекси (1947 и 1948 г.), во втором томе которого С.М. Рытовым была написана глава «Оптика движущихся тел и специальная теория относительности»;
- пятый том «Полного собрания трудов» Л.И. Мандельштама, содержащий, в частности, его лекции 1933–1934 гг. по специальной теории относительности и волновой механике. В 1949 г. партком ФИАН усмотрел в этих лекциях «позитивизм, конвенционализм и операционализм». В результате весь тираж этого тома был уничтожен, а редактор тома С.М. Рытов был снят с должности заместителя заведующего лабораторией колебаний. Только лишь вмешательство С.И. Вавилова и назначение редактором М.А. Леонтовича позволило спасти этот том¹⁹.

Что касается характеристики Н.Д. Папалекси как лектора, то можно привести следующий фрагмент. «Все м памятны безупречные по стилю и форме, глубокие по

¹⁹ Более подробно о «разоблачении физического идеализма в трудах академика Мандельштама» написано в статье А.С. Сониной «Газета “Красный флот” против идеализма в физике» [452].

содержанию публичные доклады Ник. Дм. Достигалось это путем длительной предварительной работы: Н.Д. не обладал природным ораторским талантом, выступлений экспромтом он избегал, но тем более внимания и труда уделял он подготовке своих докладов, слушать которые собиралась всегда большая аудитория» [71. Л. 15].

Приведем ряд характерных особенностей научной школы Л.И. Мандельштама, сформировавшейся в МГУ. Как отмечал А.А. Андронов, «вокруг Л.И. Мандельштама существовала атмосфера подлинной научной школы. Во-первых, он любил учить — в самом прямом значении этого слова — молодых физиков, любил задавать и растолковывать им разные трудные и каверзные задачи, разные “парадоксы”. Во-вторых, он непрерывно делился с сотрудниками и учениками своими соображениями и планами будущих работ, ставя перед ними вопросы, из которых вырастали научные исследования. При этом Л.И. Мандельштам искренне радовался, если его ученик проявлял работоспособность и особенно творческую инициативу в научной работе. Он был готов незаметным и деликатным образом отказаться от авторства в пользу своего ученика или сотрудника и умел придать его работе известный блеск и остроту, переакцентировав две-три формулировки и указав на новые следствия» [6. С. 37].

Обратимся к словам И.М. Франка — академика АН СССР, лауреата Нобелевской премии по физике 1958 г. «Вопросы теории и результаты эксперимента неизменно и постоянно обсуждались, и эти разговоры (они происходили и вне научных семинаров), частые и длительные, никто не считал потерей времени... В то время я не понимал и того, что в этих беседах часто излагались новые идеи задолго до их опубликования и, разумеется, без опасения, что их опубликует кто-то другой. Притом никто не жалел усилий, чтобы помочь формированию нового в понимании, совершенно не думая о соавторстве. В той моральной атмосфере, которая была свойственна школе Л.И. Мандельштама, это было более чем естественно» [Цит. по: 112].

Н.Д. Папалекси писал: «Л.И. принадлежал к тем ученым, которые в подлинном смысле сами горели страстью к науке и заражали ею других. Вокруг Л.И. создалась многочисленная школа талантливейшей молодежи. Вдохновленные его идеями эти молодые ученые продолжают творчески развивать созданные Л.И. новые направления в науке и технике» [385. С. 157]. Еще одной немаловажной причиной, по которой аспиранты, молодые специалисты и уже состоявшиеся ученые тянулись к Л.И. Мандельштаму,

является то, что «он имел с каждым свой разговор» [5. С. 188].

Интересно также высказывание С.М. Рытова. «Школа Манделъштама — это и особая атмосфера, полная взаимной доброжелательности и, вместе с тем, чуждая малейших послаблений в требованиях, предъявляемых к работнику науки. Я не представляю себе подлинно научной школы без такой атмосферы» [437. С. 282].

Используя приведенные суждения, биографическую и историко-научную литературу, можно выделить следующие особенности стиля руководства Л.И. Манделъштама.

- Стремление к обучению молодых специалистов, используя различные методологические подходы в обучении (например, «парадоксы», моделирование физических явлений и процессов, «колебательную взаимопомощь»).

- Непрерывное научное общение Л.И. Манделъштама и его учеников на семинарах и вне институтских занятий, активное коллективное и индивидуальное обсуждение новых идей, гипотез, полученных результатов, поддержка молодых специалистов, проявивших интерес к физическим проблемам.

- Особая атмосфера доброжелательности и научного творчества, царившая на семинарах и лекциях Л.И. Манделъштама, соблюдение морально-нравственных принципов в научных диалогах и повседневном общении.

Приведенные выше характеристики касаются личностных качеств и научного стиля мышления Л.И. Манделъштама (о них достаточно много написано в историко-научных изданиях). В то же время, говоря о научной школе Л.И. Манделъштама — Н.Д. Папалекси, необходимо привести ряд отзывов о стиле руководства Н.Д. Папалекси и его взаимоотношениях с учениками. Для этого воспользуемся архивными материалами.

В период педагогической деятельности в ЛПИ студенты, аспиранты и научные сотрудники часто обращались за консультациями к Н.Д. Папалекси. «Если обсуждаемый вопрос был в основном знаком собеседнику, то консультация принимала характер обсуждения, в ходе которого Ник. Дм. давал много ценных указаний, указывал на частности и детали, которые могли ускользнуть от внимания человека, еще не полностью овладевшего предметом. Если же спрашивающий рассчитывал на то, что консультант выполнит за него всю научную работу — его ожидания всегда бывали обмануты: Ник. Дм. прежде всего требовал самостоятельного труда» [71. Л. 17]. Студенты и аспиранты хорошо знали об этом и обращались к Н.Д. Папалекси не за

разъяснением основ какого-либо теоретического курса, которые они должны были освоить самостоятельно, а в тех случаях, когда действительно требовалась помощь. Благодаря такому подходу из стен инженерно-физического факультета ЛИИ вышло множество инженеров-радиофизиков, хорошо подготовленных к научной и практической работе.

Н.Д. Папалекси относился к любой научной работе с чрезвычайной добросовестностью и ответственностью. Такого же отношения он требовал и от своих сотрудников. При этом на фиксацию результатов экспериментов и объективность выводов не должны были влиять никакие предвзятые мнения. При исследовании какого-либо явления не должны были оставаться незамеченными и не проанализированными малейшие детали и «паразитные эффекты». «Этой исключительной тщательности исследований в значительной мере обязаны были и Ник. Дм. и Леонид Исаакович успехам своих работ: в то время как многие проходили мимо “засоряющих” основное явление мелких помех, Ник. Дм. всегда останавливался на этих мелочах свое внимание, развивал исследования в этом направлении» [Там же. Л. 14].

У своих сотрудников Н.Д. Папалекси пользовался исключительным авторитетом. Его анализ явлений, предсказания и технические решения, как правило, оказывались верными. «Вспоминается, что во время кропотливых длительных и в то время еще для многих совершенно непонятных исследований по параметрическому возбуждению колебаний все ближайшие сотрудники Ник.Дм. собственным опытом были доведены до убеждения в том, что предсказанные явления будут получены и если они не получаются — значит это вина экспериментатора!» [Там же. Л. 15]

Н.Д. Папалекси также считал важным популяризировать научные идеи, знакомить специалистов и людей, далеких от науки, с последними научными достижениями. В своих докладах он в доступной, но строго научной форме рассказывал о роли радиотехники в науке и жизни общества [179].

На основе приведенных суждений, биографической и историко-научной литературы, можно выделить следующие характерные черты стиля руководства Н.Д. Папалекси.

- Высокая требовательность к своим сотрудникам, обсуждение научных результатов, поощрение самостоятельности и инициативы в проведении научных исследований.

- Объективное изучение физического явления или процесса во всех деталях, тщательный анализ и проверка полученных результатов.

- Сильно развитая научная и техническая интуиция Н.Д. Папалекси, убежденность в решении поставленной задачи, которая передавалась и его сотрудникам.

- Проведение научно-популярных докладов, собиравших большую аудиторию, что способствовало расширению научно-технического кругозора слушателей, повышению интереса к научно-исследовательской деятельности.

Представители научной школы. Работая в различных научно-исследовательских центрах (ЦРЛ, ЛЭФИ, ФИАН) и образовательных учреждениях (МГУ, ЛИИ), вокруг Л.И. Мандельштама и Н.Д. Папалекси формировались группы молодых специалистов и аспирантов. Приведем список сотрудников и учеников Л.И. Мандельштама и Н.Д. Папалекси и кратко охарактеризуем полученные ими результаты. Отметим, что многие из них впоследствии стали самостоятельными учеными в области теории нелинейных колебаний и радиофизики, а некоторые представители научной школы Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси создали собственные научные школы.

- А.А. Андронов — академик АН СССР, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой «Теории колебаний и автоматического регулирования» радиофизического факультета ГГУ, выдающийся специалист в области теории нелинейных колебаний и динамики систем, теории автоматического регулирования, радиофизики и прикладной механики. Он обучался в аспирантуре под руководством Л.И. Мандельштама в 1926–1929 гг. А.А. Андронов известен как создатель Нижегородской радиофизической школы. О его научной школе будет рассказано в § 4.2.1.

- М.А. Леонтович — академик АН СССР, доктор физико-математических наук, профессор, выдающийся физик-теоретик, организатор научной школы в области физики плазмы. Вместе с А.А. Андроновым, А.А. Виттом и С.Э. Хайкиным он был одним из первых аспирантов Л.И. Мандельштама. Под его руководством М.А. Леонтович выполнил ряд работ в области теории колебаний, оптики, общей теории относительности, квантовой механики. Закончив аспирантуру в 1928 г., он продолжил работать в НИИФ МГУ, стал доцентом, а затем и профессором физического факультета МГУ. В 1929 г. М.А. Леонтович принимал участие в создании классической теории комбинационного рассеяния света в кристаллах. В 1937 г. он вместе с Л.И.

Мандельштамом предложен общий метод рассмотрения явления диссипации в системах с конечным временем релаксации, получивший применение в физике твердого тела и газодинамике.

В конце 1934 г. М.А. Леонтович перешел на должность старшего научного сотрудника лаборатории колебаний ФИАН, которую в то время возглавлял Н.Д. Папалекси. Благодаря большой глубине и оригинальности своих работ М.А. Леонтович стал одним из ведущих физиков-теоретиков этого института. В 1941 г. он вместе с ФИАН эвакуировался в Казань, а в 1942 г. — был переведен в лабораторию по разработке радионавигационной системы наведения для слепого бомбометания. Данная лаборатория организационно входила в состав НИИ-108, в котором М.А. Леонтович был руководителем теоретической группы. Наряду с решением специальных задач оборонного значения М.А. Леонтович выполнил фундаментальные теоретические исследования в области радиофизики.

М.А. Леонтович сформулировал приближенные граничные условия для электромагнитного поля на поверхности хорошо проводящих тел. Эвристическая ценность этих условий обусловлено тем, что с их помощью решение волновой задачи о двух средах, одна из которых является хорошим проводником, можно свести к задаче о поле только вне проводника. Граничные условия М.А. Леонтовича позволили решить обширный класс радиофизических задач и прочно вошли в теоретические основы радиофизики и радиотехники. Их описание приведено в статье М.А. Леонтовича [313].

Другая фундаментальная работа М.А. Леонтовича в области радиофизики была посвящена решению задачи о распространении электромагнитных волн вдоль поверхности Земли (1944 г.). В ней был предложен метод параболического уравнения. Введя продольный и поперечный масштабы изменения так называемой функции ослабления — медленно меняющегося множителя в выражении для напряженности поля, М.А. Леонтович показал, что для нее, как это следует из граничных условий, получается легко решаемое дифференциальное уравнение параболического типа. Описание метода параболического уравнения приведено в статье М.А. Леонтовича [314]. Метод параболического уравнения²⁰ применим к решению задачи Зоммерфельда о

²⁰ В настоящее время метод параболического уравнения широко используется при количественном описании различных волновых процессов, в том числе в задачах о распространении волн в нелинейных и в случайно-неоднородных средах.

вертикальном электрическом диполе, находящемся на поверхности плоской однородной Земли, а также к проблеме распространения волн вокруг сферической Земли. Она была рассмотрена в М.А. Леонтовичем и В.А. Фоком в статье [316].

К тому же времени относятся исследования М.А. Леонтовича по общей теории тонких проволочных антенн. В совместной с М.А. Левиным статье [315] на основе введения характерного малого параметра было получено приближенное интегро-дифференциальное уравнение для тока в тонком проводнике. С его помощью удалось «единым образом охватить резонансный и нерезонансный режимы возбуждения антенны, рассмотреть как приемные, так и передающие антенны. В отличие от предшествующих работ по проволочным антеннам, данный подход позволил описать изогнутые проводники и системы проводов с произвольной формой поперечного сечения» [309. С. 669].

Кроме того, М.А. Леонтовичем была высказана идея о включении флуктуационных сторонних ЭДС в уравнения электродинамики. Выполненный цикл исследований М.А. Леонтовича и М.Л. Левина вошел в основу теоретической радиофизики.

В 1947 г. М.А. Леонтович возглавил в качестве заведующего лабораторию колебаний ФИАН. Вместе с тем, он не оставлял и работы в НИИ-108, откуда ушел в 1953 г. С 1946 г. М.А. Леонтович преподавал в МГУ, в 1946–1954 гг. — в МИФИ, где с 1949 г. заведовал кафедрой теоретической физики. Отметим, что в 1944 г. был опубликован ставший хрестоматийным теоретический курс «Статистическая физика», а в 1952 г. — курс «Введение в термодинамику». В 1983 г. оба курса М.А. Леонтовича были изданы в виде одной книги «Введение в термодинамику. Статистическая физика» [312]. С 1951 г. он возглавил теоретические исследования по управляемому термоядерному синтезу, перейдя из ФИАН по предложению И.Е. Тамма в ЛИПАН на должность начальника научного сектора.

С 1957 г., когда ЛИПАН была преобразована в ИАЭ, М.А. Леонтович возглавил теоретическую группу (сектор 41) отдела плазменных исследований института. Его учениками являются известные ученые, академики РАН Е.П. Велихов, Б.Б. Кадомцев, В.Д. Шафранов, Р.З. Сагдеев, члены-корреспонденты РАН А.А. Веденов, А.Б. Михайловский и др. Описание научной школы М.А. Леонтовича в области физики плазмы выходит за рамки данного исследования. О ней можно прочитать в ряде

историко-научных изданий [274; 517].

▪ А.А. Витт — доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики колебаний МГУ. В 1924 г. под руководством Л.И. Мандельштама он обучался в аспирантуре вместе с А.А. Андроновым. Совместно они выполнили ряд работ [26; 29]. Их описание приведено в § 4.2.1. Главным научным трудом А.А. Витта стала монография «Теория колебаний» [45], написанная вместе с А.А. Андроновым и С.Э. Хайкиным в 1937 г. К сожалению, сталинские репрессии не обошли стороной талантливого физика и математика — он был арестован. В 1937 г. состоялся суд, приговоривший А.А. Витта к пяти годам заключения. Вскоре он ушел из жизни, отбывая срок в лагере на Колыме.

▪ Г.С. Горелик — доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой общей физики ГГУ и МФТИ, заведующий отделом ГИФТИ, талантливый педагог и выдающийся ученый, известный своими исследованиями в области теории колебаний, радиофизики, оптики и акустики, один из организаторов радиофизического факультета ГГУ. Им был создан легендарный учебник «Колебания и волны. Введение в акустику, радиофизику и оптику» [176]. В ГГУ Г.С. Горелик организовал научную школу в области теории нелинейных колебаний и статистической радиофизики (о ней мы расскажем в § 4.2.2).

▪ В.В. Мигулин — академик РАН, выдающийся ученый-радиофизик, заслуженный профессор МГУ, директор ИЗМИРАН, лауреат Государственных премий СССР (1946 г., 1953 г.). Научную деятельность он начал у Н.Д. Папалекси в секторе нелинейных колебаний ЛЭФИ. После переезда в Москву в 1934 г. В.В. Мигулин стал сотрудником ФИАН, где под руководством Л.И. Мандельштама и Н.Д. Папалекси активно участвовал в работах по параметрическому возбуждению колебаний и по созданию радиоинтерференционных методов. Исследования В.В. Мигулина посвящены теории нелинейных колебаний, радиоинтерферометрии, изучению распространения радиоволн, ионосферы и магнитосферы Земли. Кроме того, он руководил разработкой маломощных параметрических усилителей и работами по созданию приемников для миллиметровых и субмиллиметровых радиоволн. При активном участии В.В. Мигулина было создано новое направление современной физики — солнечно-земная физика.

▪ С.М. Рытов — выдающийся ученый-радиофизик, член-корреспондент АН СССР (с 1991 г. — член корреспондент РАН), которому принадлежат фундаментальные

научные результаты в теории нелинейных колебаний, акустике, теории распространения волн, электродинамике, статистической радиофизике. В 1930 г. он окончил физико-математический факультет МГУ, а в 1933 г. — аспирантуру МГУ под руководством Л.И. Мандельштама по специальности «теория колебаний». Лекции по статистической радиофизике, которые С.М. Рытов читал в МФТИ, послужили основой для создания единственного в мире учебника по статистической радиофизике — «Введение в статистическую радиофизику» (1966 г.) [432], который сразу же стал научным бестселлером. На протяжении нескольких десятков лет С.М. Рытов был бессменным руководителем основанного им радиофизического семинара в ФИАН (впоследствии он проходил в ИФА). Результаты научной деятельности С.М. Рытова будут рассмотрены в § 4.2.3.

- С.П. Стрелков — доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой физического факультета МГУ. Окончив в 1931 г. физико-математический факультет этого университета, он поступил в аспирантуру к Л.И. Мандельштаму и обучался по специальности «теория колебаний». Первая научная работа С.П. Стрелкова была посвящена решению нелинейной задачи, поставленной еще лордом Рэлеем, а именно — исследованию автоколебаний маятника Фроуда [458]. Занимаясь в аспирантуре изучением различного вида механических автоколебаний, он в 1935 г. начал вести в ЦАГИ исследовательскую работу по договору с МГУ.

С.П. Стрелков — один из основоположников исследований автоколебаний в распределенных системах. В своих работах он успешно использовал методы теории нелинейных колебаний, развитых научной школой Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси. В 1940 г. С.П. Стрелков переехал в г. Жуковский (тогда п. Стаханово) и начал работать в ЦАГИ. Он активно участвовал в работах по изучению сложных динамических явлений в условиях взаимодействия потока воздуха с конструкцией летательных аппаратов и наземных испытательных установок. В частности, им проведены первые в СССР работы по исследованию так называемого срывного флаттера крыла самолета. С.П. Стрелкову удалось раскрыть механизм этого явления и указать эффективные средства борьбы со срывным флаттером.

В период 1935–1941 гг. он выполнил фундаментальные исследования автоколебаний потока воздуха в аэродинамических трубах с открытой рабочей частью. В результате ему удалось выяснить причины и физическую картину этих автоколебаний

и разработать методы их устранения. Они вошли в практику строительства аэродинамических труб в нашей стране.

В 1943 г. С.П. Стрелков стал профессором кафедры колебаний МГУ и начал читать основной курс лекций по теории колебаний. Продолжая традиции Л.И. Мандельштама по созданию теории нелинейных колебаний как самостоятельного научного направления, С.П. Стрелков создал новый курс лекций, тесно связанный с возникшими в то время техническими задачами. На его основе он написал учебник «Введение в теорию колебаний» (1950 г.) [457], ставший настольным для многих поколений ученых. Лекции и семинары С.П. Стрелкова по теории колебаний и общей физике пользовались заслуженной популярностью у студентов МГУ. Многие сотрудники МГУ и ЦАГИ являются его учениками, более 50 из них стали кандидатами и докторами наук.

■ К.Ф. Теодорчик — доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой колебаний (теории колебаний) физического факультета МГУ. В 1930-х гг. в результате деятельности научных школ Л.И. Мандельштама и Н.Д. Папалекси, Н.М. Крылова и Н.Н. Боголюбова была разработана теория автоколебательных систем. Однако для реализации практических приложений в радиотехнике, автоматике, акустике, необходимо было придать этой теории физически наглядную и доступную форму. Этим направлением занимался К.Ф. Теодорчик и ряд других ученых.

В 1939 г. он опубликовал две работы, посвященные энергетическому методу, — методу рассмотрения автономных и неавтономных режимов автоколебательных систем. Находясь в эвакуации в 1942–1943 гг., К.Ф. Теодорчик разработал общую теорию синхронизации релаксационных (разрывных) автоколебаний. В 1944 г. вышло из печати первое издание монографии К.Ф. Теодорчика «Автоколебательные системы» [462], в которой было представлено систематическое изложение теории и методов исследования автоколебательных систем.

К.Ф. Теодорчик — организатор научной школы в области теории нелинейных колебаний. Ее представители изучали колебания в линейных и нелинейных системах различной физической природы, разрабатывали методы исследования сложных явлений в автоколебательных системах, в том числе и в системах автоматического регулирования. В МГУ К.Ф. Теодорчик читал курсы экспериментальной физики,

спецкурс по автоколебательным системам, лекции по теории электромагнитного поля (для аспирантов). Его научная и педагогическая деятельность всегда была тесно связана с работой большого коллектива студентов и аспирантов, работающих в лаборатории колебаний НИИФ и на кафедре теории колебаний.

▪ С.Э. Хайкин — доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрами колебаний и общей физики МГУ, автор широко известных учебных курсов «Механика» и «Физические основы механики». В 1930–1931 гг. он был ученым секретарем, в 1931–1933 гг. — заместителем директора НИИФ МГУ, а в 1934–1937 гг. — деканом физического факультета этого университета. С.Э. Хайкин начал свою научную деятельность в МГУ с 1928 г. на кафедре теоретической физики под руководством Л.И. Мандельштама. В этот период научные исследования С.Э. Хайкина были посвящены исследованию автоколебаний. Значительная часть полученных им результатов в области автоколебаний, впоследствии вошла в фундаментальный труд «Теория колебаний» (1937 г.) [45].

В 1945–1953 гг. он работал в ФИАН заведующим сектором радиоастрономии в лаборатории колебаний. В 1953 г. С.Э. Хайкин создал отдел радиоастрономии в ГАО в Пулковско. Вместе со своими учениками он исследовал распространение радиоволн, был соавтором открытия явления радиоизлучения солнечной короны, изобретателем нового типа радиотелескопа (АПП). О научной школе С.Э. Хайкина в области экспериментальной радиоастрономии будет рассказано в главе 5.

▪ Е.Я. Щеголев — кандидат технических наук, крупный специалист в области инженерной радиотехники, один из первых разработчиков судовой радионавигационной техники, лауреат Государственной премии СССР (1949 г.). При его участии было налажено производство приемных радиоламп на Одесском государственном радиозаводе, в котором он работал вместе с Л.И. Мандельштамом и Н.Д. Папалекси. Е.Я. Щеголев был одним из создателей первых ламповых телефонных радиостанций, мощной ламповой радиостанции в Тегеране (1925 г.), руководителем лаборатории завода Козицкого, в стенах которого конструировались новые типы передающей, приемной и измерительной радиоаппаратуры.

Он сыграл огромную роль в создании устройств для измерения расстояний — радиоинтерференционных дальномеров, которые были спроектированы под его непосредственным руководством и были им испытаны в действительных условиях. Е.Я.

Щеголевым была также разработана и апробирована методика измерений и способы обработки результатов для различных случаев измерений (одновременное измерение двух расстояний, определение положение судов на ходу), значительно упрощающие получение конечного результата. В связи с проведением радиоинтерференционных измерений Е.Я. Щеголевым было выполнено исследование фазовых соотношений высокочастотных колебаний с рациональным отношением частот, а также измерение скорости распространения радиоволн в различных природных условиях.

Конечно, представленный список учеников Л.И. Мандельштама и Н.Д. Папалекси далеко не полный. В нем фигурируют имена ученых, получивших выдающиеся научные результаты и удостоенных за свои научные заслуги высоких званий и наград. Но, помимо них, следует упомянуть и других представителей научной школы Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси. Несмотря на то, что они не стали академиками или членами-корреспондентами АН и не создали собственные научные школы, их вклад в теорию нелинейных колебаний и практическую радиотехнику не менее значим. По большей части речь идет о многочисленных сотрудниках Л.И. Мандельштама и Н.Д. Папалекси, работавших вместе с ними в различных лабораториях (приведенные ниже характеристики приведены по материалам архива Н.Д. Папалекси [67]).

- В.А. Лазарев — начальник группы явлений параметрического возбуждения в секторе нелинейных колебаний ЛЭФИ, провел исследования в области параметрического возбуждения (рассмотрел возбуждение электрических колебаний механическим периодическим изменением самоиндукции колебательной системы).

- А.Г. Рзянкин — физик и радиоинженер, работал в руководимых Н.Д. Папалекси лабораториях, сначала в качестве научного, а затем старшего научного сотрудника. Совместно с В.В. Мигулиным им было выполнено исследование гетеропараметрического возбуждения в связанных системах. А.Г. Рзянкин также работал над вопросами генерации переменных токов посредством периодического изменения емкости колебательной цепи в среде с повышенным давлением, а также провел исследование и испытание различных образцов параметрических альтернаторов.

- А.М. Мартынов — исполняющий обязанности заведующего экспериментальной базы ЭНИН в Ленинграде, сотрудник лабораторий Н.Д. Папалекси в ЛЭФИ и ЭНИН. Он принимал активное участие в исследованиях в области параметрического генерирования переменных токов путем механического

периодического изменения как индуктивности, так и емкости колебательной цепи.

▪ И.М. Борушко — радиоинженер, принимал участие в исследованиях под руководством Л.И. Мандельштама и Н.Д. Папалекси с 1922 г. Будучи искусным экспериментатором, он выполнил ряд ключевых опытов по изучению авто- и гетеропараметрического возбуждения. И.М. Борушко известен как разработчик первых кварцевых стабилизирующих устройств, первого кварцевого приемника, автопараметрического фильтра, схемы коротковолнового передатчика для Московского радиопередатчика, один из конструкторов радиоинтерференционных дальномеров.

В заключение отметим, что подход к трактовке колебательных процессов в различных системах, развитый научной школой Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси, стал теоретической базой радиофизики. Он был использован при создании теории и методов расчета многих радиофизических устройств.

Результаты научной школы. Л.И. Мандельштамом и Н.Д. Папалекси была впервые поставлена задача создать целостную теорию, описывающую различные нелинейные колебательные системы. Благодаря деятельности их научной школы, были заложены основы теории нелинейных колебаний, разработаны ее важнейшие методы (метод припасовывания, метод ММА, метод малого параметра и др.), которые нашли применение в различных областях науки и техники. Кроме того, Л.И. Мандельштамом, Н.Д. Папалекси и их сотрудниками были сконструированы и внедрены в практику новые радиотехнические устройства, принципы, схемы и методы.

В ЦРЛ Л.И. Мандельштам и Н.Д. Папалекси начали работы по изучению колебательных процессов в регенеративных системах. В результате под их непосредственным руководством были исследованы резонанс n -го рода, комбинационный резонанс, дробные резонансы, явление «принудительной синхронизации частоты, явление асинхронного возбуждения. При этом формировались нелинейный стиль мышления, характерный для всей научной школы Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси, а также нелинейный подход к изучению колебательных явлений. Отметим, что в МГУ Л.И. Мандельштам и его ученики рассмотрели процессы в различных нелинейных колебательных системах, ввели и обосновали новые понятия, терминологию, расчетные методы.

Выдающиеся результаты, полученные научной школой Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси, способствовали тому, что СССР стал признанным центром мировых

исследований по изучению колебательных процессов в нелинейных системах. К важнейшему направлению их научных исследований относятся также работы по авто- и гетеропараметрическим колебаниям и разработке параметрических генераторов. Они были выполнены в секторе нелинейных колебаний ЛЭФИ, лабораториях ЛИИ и ЭНИН. Сотрудники Л.И. Мандельштама и Н.Д. Папалекси выполнили цикл исследований в области гетеропараметрического возбуждения колебаний, что позволило построить несколько моделей параметрических машин. В 1931 г. Л.И. Мандельштам за свои научные достижения был удостоен премии имени Ленина.

Еще одной яркой страницей научного содружества Л.И. Мандельштама и Н.Д. Папалекси стали работы по изучению распространения радиоволн и разработке радиоинтерференционных методов. Благодаря исследованиям Л.И. Мандельштама, Н.Д. Папалекси и их учеников был теоретически обоснован и апробирован в различных условиях метод измерения скорости распространения радиоволн. До этого в арсенале ученых и инженеров подобного метода не существовало. На его основе была решена актуальная задача — точное определение расстояния между двумя пунктами, разделенными труднопроходимой территорией или водной поверхностью.

Радиоинтерференционные методы нашли широкое применение в навигационных, гидрографических и геодезических исследованиях. В 1936 г. Л.И. Мандельштаму и Н.Д. Папалекси была присуждена первая премия им. Д.И. Менделеева по физике за исследования по теории нелинейных колебаний и распространению радиоволн. Постановлением СНК СССР от 11 января 1942 г. «за научные работы в области теории колебаний и распространения радиоволн: “Интерференционные методы исследования распространения радиоволн и их применение”, опубликованную в 1941 году, и “Об одном варианте интерференционного метода исследования распространения радиоволн”, опубликованную в конце 1940 года» они были удостоены Сталинской премии I степени.

Отметим, что и за рубежом проведенные исследования было высоко оценены научным сообществом. Так, в 1942 г. председатель Радиосекции Британского общества инженеров-электриков С. Розе основную часть своего годового доклада посвятил изложению радиоинтерференционной методики и полученных в СССР результатов в этой области.

Широта научных интересов и богатая техническая интуиция позволили Л.И.

Мандельштаму и Н.Д. Папалекси высказать ряд ценных идей, которые были реализованы уже после их смерти. Речь идет о радиолокации Луны и исследовании радиоизлучения Солнца. Впоследствии эти работы привели к возникновению магистрального направления радиофизики — радиоастрономии. В 1945 г. за выдающиеся заслуги в области радиофизики и радиотехники Н.Д. Папалекси был награжден орденом Ленина.

В 1991 г. Отделением общей физики и астрономии РАН была учреждена премия имени Л.И. Мандельштама, присуждаемая за лучшие работы по физике. Кроме того, постановлением Правительства были введены стипендии его имени для студентов и аспирантов МГУ и ФИАН.

Резюмируя, отметим, что работы, выполненные Л.И. Мандельштамом, Н.Д. Папалекси и их учениками, привели к формированию радиофизики как самостоятельного научного направления. В этом процессе значительную роль сыграли лекционные курсы и семинарские занятия, которые они проводили в различных учебных заведениях. Это способствовало воспитанию научно-инженерных кадров в области радиофизики, обладающих нелинейным стилем мышления.

На этом наш рассказ о научной школе Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси не заканчивается, так как ряд их учеников создали собственные школы, в которых были продолжены научные исследования, начатые их учителями. В этой главе мы рассмотрим некоторые из таких научных школ.

Таблица 3, заполненная применительно к научной школе Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси, приведена в Приложении 4 (таблица бп).

§ 4.2. Научные школы учеников Л.И. Мандельштама и Н.Д. Папалекси

В этом параграфе речь пойдет о научных школах, формирование которых напрямую связано с научной школой Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси. Основное внимание мы уделим эволюции Нижегородской ветви научной школы Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси (в лице их учеников А.А. Андропова и Г.С. Горелика). При этом из схемы изложения материала о научной школе мы исключим такой пункт как «Направление радиофизики», так об этом было обстоятельно рассказано в § 4.1.

§ 4.2.1. А.А. Андронов и научная школа в области теории нелинейных колебаний и теории автоматического регулирования

«Роль работ Александра Александровича в создании и развитии советской “нелинейной” школы физиков, математиков и механиков, занявшей ведущее место в мировой науке, трудно переоценить»

[479. С. 332]

С.И. Вавилов

Источники литературы. К библиографическим материалам, посвященным научной и педагогической деятельности А.А. Андропова, следует отнести:

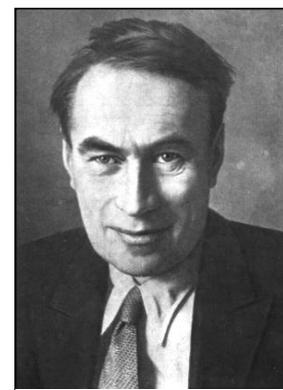
- собрание трудов А.А. Андропова [18], в котором представлены его работы по теории колебаний, теории автоматического регулирования, статьи по истории науки и библиография трудов;
- автобиографию А.А. Андропова и отзывы Л.И. Мандельштама, С.И. Вавилова о его научных трудах [479];
- книги Е.С. Бойко «Школа академика А.А. Андропова» [111], «Александр Александрович Андронов (1901–1952)» [110], в которых рассмотрены биография А.А. Андропова, становление и развитие его научной школы, а также эволюция важнейших понятий теории нелинейных колебаний;
- сборник «Памяти Александра Александровича Андропова» [382], в котором, в частности, приведены обзоры научной деятельности А.А. Андропова, составленные Г.С. Гореликом и М.А. Айзерманом;
- каталог «Личность в науке. А.А. Андронов. Документы жизни» [195], в котором содержатся материалы выставки, посвященной 100-летию со дня рождения академика А.А. Андропова;
- книгу Ю.И. Неймарка «Сухой остаток: К истории в лицах научной школы А.А. Андропова» [371];
- статьи Г.С. Горелика «Памяти А.А. Андропова» [185], М.И. Мотовой и В.Д. Шалфеева «К истории научной школы А.А. Андропова» [364], Г.А. Бендрикова и Г.А. Сидоровой «Александр Адольфович Витт» [105], Г.Е. Горелика «Не успевшие стать академиками» [171], П.С. Ланды «Применение и развитие идей Витта в современной теории колебаний» [301];
- информационные ресурсы АРАН, электронной библиотеки «Научное наследие

России», содержащие научно-биографические сведения об А.А. Андронове;

- фонд 1938 АРАН, в который включены рукописи работ, статьи и доклады А.А. Андропова по теории нелинейных колебаний, по радиотехнике, по теории автоматического регулирования и общей динамике машин, его отзывы о научной деятельности ученых, биографические документы, письма, фотографии и др.

Научная биография руководителя научной школы. Александр Александрович Андронов (1901–1952) родился 11 апреля 1901 г. в Москве. Среднюю школу он окончил в 1918 г., затем — поступил на завод «Пулемет» в качестве браковщика, работал монтером на электростанции, а в конце 1919 г. — перешел на работу в военно-продовольственный отряд Латвийской Советской Республики.

В 1920 г. А.А. Андронов перенес плеврит в тяжелой форме, был признан непригодным к военной службе, и в том же году поступил в МВТУ на электротехнический факультет, где была открыта специализация по радиотехнике. С 1921 г. одновременно с занятиями в МВТУ он стал посещать лекции по физике в МГУ, а в 1923 г. — перевелся на физико-математический факультет этого университета. Ключевую роль в формировании научного мировоззрения А.А. Андропова сыграло обучение в аспирантуре (1926–1929 гг.) под руководством Л.И. Мандельштама.



А.А. Андронов

Отметим, что до цикла работ в области теории нелинейных колебаний А.А. Андроновым были выполнены ряд исследований с другим аспирантом Л.И. Мандельштама М.А. Леонтовичем.

- «К теории молекулярного рассеяния света на поверхности жидкости» (1926 г.) [35]: приведена теория рассеяния света флуктуирующей поверхностью жидкости.

- «О колебаниях системы с периодически меняющимися параметрами» (1927 г.) [36]: исследованы свойства решений линейных дифференциальных уравнений с периодическими коэффициентами и введено понятие о параметрическом резонансе.

- «К теории адиабатических инвариантов» (1928 г., совместно с Л.И. Мандельштамом) [37]: описано адиабатическое изменение параметра в неконсервативных системах.

После этого А.А. Андронов сфокусировал свое внимание на вопросах генерации колебаний. Как уже отмечалось, актуальность их изучения связана с появлением

электронных ламп в радиотехнике. Для того чтобы лучше понять, как А.А. Андронов обратился к новой для себя тематике научных исследований, приведем фрагмент из его воспоминаний. «В 1927 г. Л.И. Мандельштам предложил мне исследовать устойчивость движений, получаемых по методу припасовывания, а затем вообще попытаться подвести под этот метод серьезную математическую базу. Он сказал, что Н.Д. Папалекси уже ряд лет тому назад нашел по методу припасовывания периодическое решение в важной проблеме лампового генератора для случая характеристики, составленной из кусков прямых, и что если удастся что-либо сделать в отношении исследования устойчивости периодических движений, получаемых по этому методу, или в отношении обоснования этого метода, то сразу будет внесена ясность в целый ряд задач. Из этой задачи выросла работа о предельных циклах, ... но сама задача, поставленная Л.И. Мандельштамом, тогда не была решена²¹» [6. С. 45].

А.А. Андроновым была установлена связь между теорией генерации колебаний и теорией устойчивости А.М. Ляпунова. А.А. Андронов показал, что движение, отображаемое устойчивым предельным циклом, обладает устойчивостью по Ляпунову. Этот тип устойчивости характеризуется тем, что отклонение изображающей точки на фазовой плоскости от движения, устойчивого по Ляпунову, достаточно малое в начальный момент, остается сколь угодно малым в течение любого времени [110].

В 1929 г. А.А. Андронов окончил аспирантуру. Итогом его обучения стала диссертация «Предельные циклы Пуанкаре и теория автоколебаний». Ее краткое содержание было опубликовано в 1928 г. в докладах IV Съезда русских физиков, а в 1929 г. работа была напечатана на французском языке в «Докладах Парижской Академии наук» [538]. Важность проведенного А.А. Андроновым исследования заключается в том, что оно определило направление всей дальнейшей научной деятельности А.А. Андропова и его научной школы. В диссертации он рассмотрел простейший случай автоколебаний, соответствующий в физике системам с одной степенью свободы, в химии — реакции между двумя веществами, а в биологии — сосуществованию двух видов. Эти системы могут быть описаны двумя дифференциальными уравнениями вида:

$$\frac{dx}{dt} = P(x, y), \quad \frac{dy}{dt} = Q(x, y), \quad (1)$$

²¹ Она была решена при исследовании систем с автоматическим регулированием (см. ниже).

где $P(x, y)$ и $Q(x, y)$ — регулярные (аналитические) функции действительных переменных x и y , характеризующих состояние системы (например, сила тока и напряжение).

Для того чтобы лучше понять результаты работы А.А. Андронова, приведем небольшую теоретическую справку [45; 413]. Основными элементами, определяющими поведение интегральных кривых дифференциального уравнения первого порядка, являются особые точки, предельные циклы и сепаратрисы. Кратко охарактеризуем данные понятия.

Через каждую точку плоскости xu проходит в общем случае одна и только одна интегральная кривая (исключение составляют особые точки). Для дифференциальных уравнений (1) особые точки — это точки пересечения кривых $P(x, y) = 0$, $Q(x, y) = 0$. С физической точки зрения особые точки — это состояния равновесия рассматриваемой системы. Характер особой точки зависит от корней уравнения — характеристических показателей λ особой точки. Если оба корня λ_1 и λ_2 имеют отрицательную действительную часть, то особая точка устойчива, в противном случае — она неустойчива. Если оба характеристических корня имеют действительные части, равные нулю, то задача об устойчивости состояния равновесия системы не может быть сведена к исследованию линейной системы.

Французский ученый Анри Пуанкаре (1854–1912) выделил три типа особых точек.

1) Узел, в котором пересекается бесконечное множество интегральных кривых; λ_1 и λ_2 действительны и имеют одинаковые знаки; узел может быть устойчивым или неустойчивым в зависимости от того, является ли λ отрицательным или положительным.

2) Седло, в котором пересекаются только две интегральные кривые. Ход интегральных кривых вблизи седла аналогичен семейству гипербол $xu = \text{const}$; λ_1 и λ_2 действительны, их знаки противоположны; седло всегда неустойчиво.

3) Фокус, на который асимптотически «навиваются» интегральные кривые. Интегральные кривые аналогичны логарифмическим спиральям; λ_1 и λ_2 комплексные сопряженные; в зависимости от знака действительной части λ фокус может быть устойчивым или неустойчивым.

Известно, что стационарные решения уравнений (1) могут быть либо

постоянными, либо периодическими функциями t . Примем, что периодические движения должны быть устойчивы по отношению к достаточно малым изменениям начальных условий и правых частей уравнений (1).

Путем математических преобразований можно показать, что периодическим движениям, удовлетворяющим указанным условиям, соответствуют на фазовой плоскости xu изолированные замкнутые кривые, к которым изнутри и снаружи приближаются (при возрастании t) спирали, соответствующие соседним решениям.

Предельный цикл — геометрический образ, изображающий в фазовом пространстве периодическое движение автоколебательной системы; он представляет собой замкнутую кривую, к которой асимптотически приближаются соседние фазовые траектории. В окрестности предельного цикла фазовые траектории либо удаляются от него (неустойчивый предельный цикл), либо неограниченно приближаются к нему — «наматываются» на него (устойчивый предельный цикл). Процессам генерации колебаний соответствуют устойчивые предельные циклы.

Предельные циклы были открыты и исследованы А. Пуанкаре в работе «О кривых, определяемых дифференциальным уравнением» (1881 г.) [412] вне всякой связи с физикой. В ней он заложил основы качественной (топологической) теории дифференциальных уравнений, цель которой состоит в выяснении общего характера поведения интегральных кривых. Согласно теории Пуанкаре, точки на фазовой плоскости xu обозначают состояние исследуемой системы. Если точка, соответствующая начальному состоянию, неустойчива, то это означает, что система в этом состоянии оставаться не может. Соответствующая ей точка будет двигаться, в зависимости от случайного начального толчка, по той или иной интегральной кривой. Она будет постепенно приближаться к предельному циклу, как бы навиваться на него, стремясь в пределе слиться с ним.

Любопытно, что до работ А.А. Андронова математики, занимавшиеся качественной теорией дифференциальных уравнений, не подозревали, что предельные циклы имеют отношение к физике и технике. В свою очередь, физики и инженеры, исследовавшие процессы генерации колебаний, не знали, что математический аппарат для создания общей теории этих процессов, уже существует [110; 382].

Сепаратриса — траектория динамической системы с двумерным фазовым пространством, стремящаяся к седловому состоянию равновесия: при $t \rightarrow \infty$ (устойчивая

сепаратриса) или при $t \rightarrow -\infty$ (неустойчивая сепаратриса). В диссипативных динамических системах из петли сепаратрисы может рождаться предельный цикл. В консервативных динамических системах петли сепаратрисы могут разделять фазовое пространство на области с различным поведением траекторий.

После знакомства с основными элементами теории Пуанкаре продолжим изучение научных достижений А.А. Андронова. В работе «Предельные циклы Пуанкаре и теория автоколебаний» [538] он составил идеализированные теоретические модели часов и лампового генератора. При этом был проанализирован частный случай уравнений (1):

$$\frac{dx}{dt} = y + \mu f(x, y; \mu), \quad \frac{dy}{dt} = -x + \mu g(x, y; \mu), \quad (2)$$

где μ — действительный параметр, который может быть выбран достаточно малым.

В том случае, когда $\mu = 0$ уравнения (2) имеют решение в виде:

$$x = R \cos t, \quad y = -R \sin t.$$

При этом интегральные кривые образуют на фазовой плоскости x, y семейство окружностей. Если μ не равно нулю, то на плоскости x, y остаются изолированные замкнутые кривые, близкие к окружностям.

Несмотря на то, что дифференциальные уравнения моделей часов и лампового генератора являются нелинейными, А.А. Андронов смог их проинтегрировать и построить полную картину интегральных кривых на фазовой плоскости²². Она выглядит следующим образом: фазовая плоскость заполнена вложенными друг в друга спиралями, накручивающимися изнутри и снаружи на замкнутую кривую.

Замкнутая кривая соответствует незатухающим колебаниям, спирали — процессам их установления²³.

А.А. Андронов показал, что замкнутые кривые на фазовой плоскости,

²² По всей видимости, первым ученым, применившим геометрический подход к исследованию дифференциальных уравнений движения, был французский инженер А. Леотэ. В работе о регулировании водяных турбин (1885 г.) им были заложены основы нелинейной теории регулирования. По мнению А.А. Андронова, А. Леотэ впервые использовал фазовый портрет системы для изучения характера возможных в ней движений.

²³ До А.А. Андронова аналогичная картина была получена Б. Ван-дер-Полем с помощью метода изоклин для лампового генератора при идеализации характеристики лампы кубической параболой.

изображающие незатухающие колебания часов и лампового генератора, соответствуют предельным циклам. Это и стало выдающимся открытием, так как до А.А. Андропова при изучении нелинейных колебаний (прежде всего, автоколебаний) ученые использовали нестрогие математические методы [185].

А.А. Андронов сообщил Л.И. Мандельштаму о результатах проведенного исследования. «Поразительна та легкость, — писал А.А. Андронов, — с которой он установился на новой точке зрения, сумел быстро нащупать ее сильные и слабые стороны и начать руководить атаками при помощи нового оружия» [6. С. 45, 46]. Именно Л.И. Мандельштам увидел и указал на то, что работа А.А. Андропова открывает возможность построения общей теории нелинейных колебаний.

Важно отметить, что в работе «Предельные циклы Пуанкаре и теория автоколебаний» [538] А.А. Андронов поставил задачу исследования всей фазовой плоскости, всей совокупности движений, возникающих при всевозможных начальных условиях. Для этого он использовал разрывную идеализацию характеристики лампы и так называемый метод преобразования прямой в прямую. Впоследствии он был развит А.А. Андроновым в метод точечных отображений для решения трех- и четырехмерных нелинейных задач теории автоматического регулирования (к описанию этого метода мы еще вернемся).

А.А. Андронов выяснил также, что для количественного расчета автоколебаний, близких по своей форме к синусоидальным, может быть использован метод разложения в ряд по степеням малого параметра²⁴. Данный метод был разработан А. Пуанкаре для исследования периодических решений задачи трех тел в небесной механике.

Для обозначения незатухающих колебаний, генерируемых системами, обладающими трением (сопротивлением) подобно часам или ламповому генератору,

²⁴ Когда А.А. Андронов установил, что этот метод в сочетании с теорией устойчивости А.М. Ляпунова позволяет находить периодические решения и в ряде случаев дает возможность решать вопрос об их устойчивости, Л.И. Мандельштам счел необходимым приспособить его для решения некоторых конкретных задач. Он поощрял дальнейшую работу А.А. Андропова (совместно с А.А. Виттом) с методом малого параметра. Более того, применив его в одной из своих работ (совместно с Н.Д. Папалекси), он обнаружил резонанс второго рода (см. § 4.1).

А.А. Андронов ввел новый термин — «автоколебания»²⁵. Они представляют собой незатухающие колебания в нелинейной динамической системе, амплитуда и частота которых в течение длительного промежутка времени могут оставаться постоянными. При этом они не зависят в широких пределах от начальных условий и определяются свойствами самой системы. Диссипация энергии в автоколебательной системе компенсируется за счет поступления в нее энергии из внешних источников, благодаря чему автоколебания не затухают. Автоколебания отличаются от других колебательных процессов в диссипативной системе тем, что для их поддержания не требуется внешних периодических воздействий. Для установления автоколебаний в системе принципиально важна нелинейность, приводящая к ограничению колебаний. Другими словами, нелинейность «управляет» поступлением и тратами энергии источника.

Известно, что автоколебания могут возникать в ламповом генераторе в двух случаях [395]. В режиме мягкого возбуждения при плавном изменении одного из параметров, стационарная амплитуда, начиная с нулевого значения, монотонно возрастает (причем это изменение обратимо). Для генераторов с одной степенью свободы такому режиму соответствует фазовый портрет, показанный на рис. 4, а. Существуют также системы с жестким возбуждением автоколебаний. В таком режиме колебания самопроизвольно нарастают с некоторой начальной амплитудой. Амплитуда колебаний при прохождении точки самовозбуждения сразу, как бы скачком, приобретает некоторое определенное значение. Обычно жесткое возбуждение связано с явлением «затягивания» (см. ниже).

Для перехода колебательной системы с жестким возбуждением в режим стационарной генерации необходимо начальное возбуждение с амплитудой, большей некоторого критического значения. Фазовый портрет такого генератора приведен на рис. 4, б (1 — устойчивый предельный цикл, 2 — неустойчивый предельный цикл).

²⁵ А.А. Андронов основывался на работах немецкого физика и радиоинженера Г. Баркгаузена, который предложил термин «самовозбуждающиеся колебания».

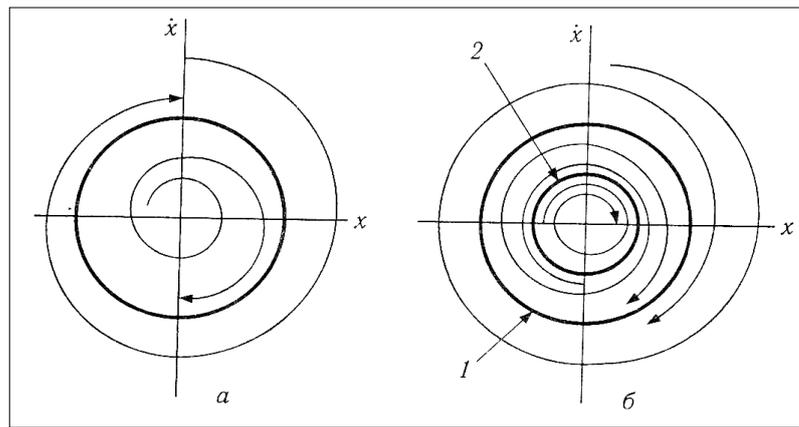


Рис. 4. Фазовые портреты лампового генератора

Для выхода траектории на устойчивый предельный цикл начальная точка на фазовой плоскости должна лежать вне области притяжения устойчивого состояния равновесия. Отсюда становится понятным физический смысл неустойчивых предельных циклов: они являются границей между областями начальных условий, из которых система стремится к различным устойчивым режимам движения. Используя понятия особых точек, предельных циклов и сепаратрис, можно, как показал А.А. Андронов, из топографической картины на фазовой плоскости (фазовых траекторий) получить ответ на вопросы об устойчивости начального состояния системы, о характере возможных стационарных режимов, а также об их устойчивости.

Исключительная наглядность метода «фазовой плоскости» и то обстоятельство, что область его применимости не ограничена ни требованием малой нелинейности, ни типом колебаний (он применим как к системам томсоновского типа, так и к релаксационным системам²⁶), делает его незаменимым инструментом при исследовании нелинейных колебаний.

Подчеркнем, что в диссертации А.А. Андропова были сформулированы два требования, касающиеся устойчивости автоколебаний:

1) в реальных физических системах автоколебания должны сохраняться при достаточно малых изменениях самих систем (физическое требование «грубости» периодических движений, представляющих собой автоколебания);

2) движение, представляющее реальный автоколебательный процесс, должно

²⁶ Автоколебательные системы томсоновского типа являются слабонелинейными системами. Происходящие в них колебания имеют почти гармонический характер. В системах релаксационного типа существуют области резкой смены амплитуды колебаний. При этом колебания являются негармоническими.

быть устойчиво по отношению к изменению начальных условий (требование устойчивости по Ляпунову периодических движений).

Первое публичное сообщение о своей работе А.А. Андронов сделал на семинаре по теории колебаний в 1928 г. «Заседание было многолюдным, — рассказывал Г.С. Горелик — ... аспирант А.А. Андронов докладывал о только что законченной им работе, установившей связь предельных циклов Пуанкаре с теорией автоколебаний... Удовольствие, которое доставлял ему [Н. Д. Папалекси] доклад ... выразилось только в едва заметной улыбке, не сходящей с его крупного лица. После доклада и обычного комментария Леонида Исааковича Николай Дмитриевич произнес несколько слов, в которых отметил большое значение доложенной работы» [110. С. 34].

После того как А.А. Андроновым было выяснено значение для теории колебаний качественной теории дифференциальных уравнений Пуанкаре и теории устойчивости Ляпунова, он вместе с А.А. Виттом занялся их применением к конкретным радиофизическим задачам. Отметим, что Л.И. Мандельштам с интересом следил за этими исследованиями, обсуждал их результаты со своими сотрудниками, а также принимал участие в развитии идей, высказанных А.А. Андроновым и А.А. Виттом. Прежде всего, ими была создана теория автоколебаний в мультивибраторе Абрагама — Блоха, имеющих резко несинусоидальную форму. Она описана в статье А.А. Андронova и А.А. Витта [29]. Мультивибратор представляет собой релаксационный генератор колебаний почти прямоугольной формы. Он является двухкаскадным усилителем на резисторах с положительной обратной связью, в котором выход каждого каскада соединен со входом другого каскада.

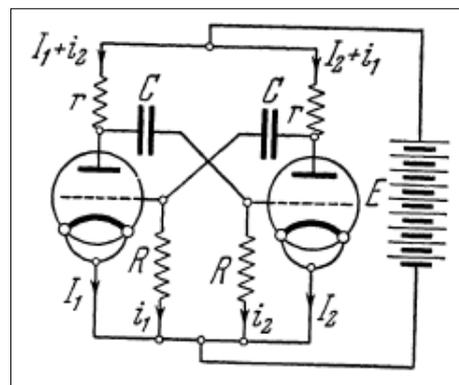


Рис. 5. Схема мультивибратора Абрагама — Блоха

Термин «мультивибратор», предложенный Б. Ван-дер-Подем, указывает на множество гармоник, содержащихся в спектре генерируемых колебаний. Классическая схема мультивибратора на двух ламповых резистивных усилителях с перекрестными анодно-сеточными связями (рис. 5) известна как схема Абрагама — Блоха²⁷ (описана в

²⁷ Мультивибраторы применяют в качестве генераторов импульсов, делителей частоты, формирователей импульсов, бесконтактных переключателей и т. п. в устройствах автоматики, вычислительной и измерительной техники.

1921 г.). Руководствуясь аналогией с ламповым генератором, А.А. Андронов и А.А. Витт описали эту систему как автоколебательную.

Пренебрегая сеточными токами, они получили следующие уравнения:

$$(I_1 + I_2)r + \int_0^t \frac{i_2 dt}{C} + i_2 R = E, \quad (2a)$$

$$(I_1 + I_2)r + \int_0^t \frac{i_2 dt}{C} + i_2 R = E. \quad (2б)$$

Считая, что анодный ток зависит только от сеточного напряжения, пренебрегая малыми «паразитными» индуктивностями и введя ряд обозначений, они выполнили математическое преобразование уравнений (2а) и (2б). Оказалось, что они не допускали непрерывных периодических решений! А.А. Андронов и А.А. Витт получили дифференциальные уравнения первого порядка, которые не только не давали предельного цикла, но и показывали, что в рассматриваемой схеме он не может возникнуть. В то же время мультивибратор генерировал незатухающие непрерывные периодические колебания (автоколебания).

А.А. Андронов так описывал эту историю. «... Я беру обычную идеализированную схему мультивибратора Абрагама — Блоха, содержащую одни только емкости, но показывающую автоколебания. Я пишу дифференциальные уравнения динамики, ищу цикл, но без результатов. Более того, я смог доказать, что рассматриваемые дифференциальные уравнения не могут иметь предельного цикла... Получается парадокс: автоколебания означают циклы, циклов нет, а система совершает автоколебания. С этим парадоксом я пришел к Мандельштаму, который немедленно понял, в чем дело. ... Он подытожил: “Если доказано, что циклов нет, это уже что-то. Поскольку система совершает колебания, то либо Ваша идеализация негодна, либо Вы не знаете, как с ней работать”. Он добавил, что уезжает в Ленинград и постарается там обдумать этот парадокс. По возвращении из Ленинграда он сказал следующее: “Мы с Н.Д. Папалекси думаем, что с вашей идеализацией можно работать и найти периодическое решение, интересное с физической точки зрения. Но это решение не будет принадлежать к непрерывным решениям... Это будет разрывное решение, т. е. соответствующее движение изображающей точки будет совершать мгновенные скачки. Мы думаем, что можно найти периодическое решение, если ввести дополнительную гипотезу, что при этих изменениях энергия, запасенная в конденсаторах, изменяется

непрерывно» [б. С. 51, 52].

Таким образом, для того чтобы разрешить обсуждаемое противоречие, выбранную идеализированную схему нужно дополнить новой гипотезой. А.А. Андронов и А.А. Витт, сделав допущение, что напряжения на конденсаторах непрерывны, получили разрывные периодические решения системы дифференциальных уравнений:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{P(x, y)}{R(x, y)}, \quad \frac{dy}{dt} = \frac{Q(x, y)}{R(x, y)}, \quad (3)$$

где $P(x, y)$, $Q(x, y)$ и $R(x, y)$ — регулярные (аналитические) функции действительных переменных x и y .

Точкам кривой $R(x, y) = 0$ (кривой Γ) соответствуют бесконечно большие значения компонент скорости. Для того чтобы сделать данную задачу однозначной, следует добавить еще определенные условия непрерывности: $\int_0^t x dt$ и $\int_0^t y dt$.

При этом вводится «гипотеза скачка» («постулат непрерывности энергии»): изображающая точка, перейдя по непрерывной фазовой траектории системы уравнений (3) на кривую Γ , совершает мгновенный скачок в точку кривой Γ_1 , определяемую по начальной точке скачка (по точке кривой Γ) из условий непрерывности двух величин.

После скачка изображающая точка снова движется по фазовой траектории уравнений (3). Эта гипотеза позволяет «достроить» фазовую траекторию уравнений до предельного цикла в четырехмерном фазовом пространстве. Используя данную гипотезу, А.А. Андронов и А.А. Витт, показали, что уравнения (3), не имеющие непрерывных периодических решений, допускают разрывные периодические решения²⁸. Ценность проведенного исследования состоит в развитии понятия автоколебаний. Наряду с томсоновскими автоколебаниями, наблюдаемыми в обычном ламповом генераторе, был описан новый тип колебательного движения — релаксационные автоколебания.

В 1930 г. А.А. Андронов и А.А. Витт опубликовали две статьи о явлении «захватывания» [26; 27]. Явление захватывания (или принудительной синхронизации) наблюдается в том случае, когда частота внешней ЭДС (сигнала) приближается к

²⁸ В дальнейшем Н.А. Железцов и Л.В. Родыгин под руководством А.А. Андропова показали, что изображающая точка должна совершить скачки не только с кривой Γ , но из всех точек внутри этой кривой [213].

собственной частоте устройства, генерирующего автоколебания (или становится ей кратной). В этом случае биения в системе исчезают, и внешняя ЭДС как бы «захватывает» автоколебания. При этом возникает чисто периодический колебательный процесс с частотой внешней ЭДС (сигнала), но с амплитудой, сильно зависящей от амплитуды «исчезнувших» автоколебаний.

Приближенная теория явления захватывания в регенеративном приемнике была разработана Б. Ван-дер-Подем. Он получил систему нелинейных дифференциальных уравнений первого порядка, анализ которых должен был дать ответ на вопрос о том, как ведут себя такие системы вблизи резонанса. Б. Ван-дер-Поль нашел некоторые частные интегралы этих уравнений, соответствующие периодическим решениям (вынужденные колебания), и исследовал их устойчивость.

В работе [26] А.А. Андронов и А.А. Витт применили к изучению явления захватывания метод ММА и методы Пуанкаре. Они ограничились рассмотрением периодических решений с периодом, равным периоду внешней ЭДС, и их устойчивости при малых отклонениях. А.А. Андронов и А.А. Витт исследовали автоколебательную систему с одной степенью свободы под действием внешней периодической силы. Такой системой стал ламповый генератор с включенным между сеткой и катодом колебательным контуром, на который действует внешняя ЭДС $E_0 = P_0 \sin \omega_1 t$ (рис. 6).

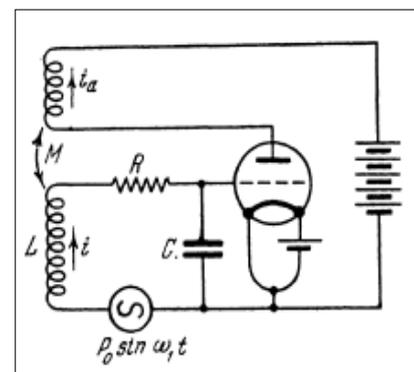


Рис. 6

Уравнение колебаний в данной системе будет иметь вид:

$$L \frac{di}{dt} + Ri + \frac{1}{C} \int_0^t idt - M \frac{di_a}{dt} = P_0 \sin \omega_1 t. \quad (4)$$

При работе с ним А.А. Андронов и А.А. Витт сделали ряд упрощений: анодный ток зависит только от сеточного напряжения; идеализация характеристики лампы кубической параболой; не учитывается сеточный ток. В результате было получено в первом приближении решения уравнения (4) в области резонанса в виде дифференциальных уравнений. А.А. Андронов и А.А. Витт выполнили их качественный анализ на основе методов Пуанкаре (в том числе, метода ММА). Введя ряд обозначений и выполнив математические преобразования, они привели дифференциальные уравнения к виду:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{A + ax + y(1-r^2)}{-ay + x(1-r^2)}. \quad (5)$$

При этом А.А. Андронов и А.А. Витт пришли к следующим выводам.

- Всегда существует область захватывания, как бы мала ни была амплитуда внешней периодической силы. Другими словами, не существует «порога захватывания».
- В области захватывания единственным устойчивым решением является чисто периодическое решение с периодом, равным периоду внешней силы.
- При достаточно малых амплитудах внешней ЭДС эта область соответствует одновременному существованию трех особых точек уравнения (5); из этих трех точек устойчива только одна.
- Вне этой области уравнения (5) имеют только одну (неустойчивую) особую точку.
- Момент исчезновения устойчивого периодического решения точно совпадает с появлением устойчивых квазипериодических решений.

Важно отметить, что в работе А.А. Андронова и А.А. Витта качественная теория дифференциальных уравнений Пуанкаре была впервые применена не к исходным уравнениям движения, а к так называемым укороченным уравнениям, полученным по методу ММА.

В дальнейшем методы А.А. Андронова и А.А. Витта применительно к теории захватывания были развиты и усовершенствованы Р.В. Хохловым. В 1954 г. он предложил метод вторичного упрощения укороченных уравнений [509]. Используя этот метод, удалось:

- провести детальный анализ синхронизации генератора модулированными сигналами;
- решить задачу о связанных отражательных клистродах с плавной электрической перестройкой частоты;
- исследовать устойчивость молекулярного генератора и др.

Метод вторичного упрощения (или вторичного укорочения) широко применяется для анализа различных нелинейных систем.

К числу специфически нелинейных эффектов, рассмотренных Б. Ван-дер-Полем, а вслед за ним и А.А. Андроновым и А.А. Виттом, было «затягивание» частоты. Явление «затягивания» было описано А.А. Андроновым и А.А. Виттом в статье об

автоколебаниях в системах с двумя степенями свободы [25]. Как и в других работах, они опирались на методы Пуанкаре и на результаты А.М. Ляпунова.

Затягиванием частоты называют явление, при котором автоколебательная система с двумя и более степенями свободы совершает колебания на одной из двух (или нескольких) частот. Причем, для каждой из них выполнены условия самовозбуждения, а установление того или иного колебания зависит от начальных условий и при изменении параметров автоколебаний сохраняются на исходной частоте, хотя условия самовозбуждения уже стали более благоприятными для генерации другой частоты. Дальнейшее изменение параметров приводит к скачкообразной смене одного колебания другим с образованием петли гистерезиса.

Образом явления затягивания частоты в фазовом пространстве, минимальная размерность которого равна трем, является картина с двумя устойчивыми предельными циклами и одним неустойчивым — седловым циклом. Устойчивая сепаратриса седлового цикла разделяет области притяжения устойчивых периодических движений. Скачкообразной смене режима колебаний соответствует бифуркация слияния (с последующим исчезновением) одного из устойчивых циклов с седловым периодическим движением. Во многих случаях затягивание частоты — вредное явление, так как в процессе настройки генератора при изменении какого-либо параметра может произойти изменение частоты. Для того чтобы этого избежать, необходимо уменьшить обратную связь между контурами или снизить добротность второго контура.

Отметим, что в работе [38] А.А. Андронов и А.Г. Любина применили известные до этого лишь астрономам понятия «точек бифуркации», «смены устойчивостей» и др. к описанию мягкого и жесткого режимов возбуждения колебаний. Ими была применена теория бифуркаций к автоколебательным системам, близким к линейным консервативным системам. Так, в теорию колебаний был введен термин «бифуркация», ставший одним из краеугольных в исследованиях по нелинейной динамике.

Подытожим результаты исследований А.А. Андропова и А.А. Витта, приведя фрагмент из воспоминаний А.А. Андропова. «А.А. Витту и мне в ряде главным образом совместных работ удалось, во-первых, разработав надлежащую рецептуру, при помощи метода малого параметра единообразным способом получить ряд известных в радиотехнике результатов, касающихся теории обычного лампового генератора, теории генератора с сеточным током, теории явления затягивания в случае сильной и слабой

связи, теории явления захватывания или принудительной синхронизации для случая так называемых больших амплитуд, полученных ранее различными методами, не имевшими строгого математического обоснования.

Во-вторых, нам же удалось попутно решить спорный вопрос о существовании “порога” для амплитуды внешней электродвижущей силы, ниже которой она не может вызывать принудительной синхронизации или захватывания. Выяснение этого вопроса имело определенное практическое значение. На этой основе А.А. Витт и С.Э. Хайкин разработали новый способ измерения интенсивности полей радиостанций. К.Ф. Теодорчик и С.Э. Хайкин перенесли эти результаты в акустику и разработали новый способ измерения интенсивности звуковых полей» [5. С. 116].

В результате работ А.А. Андропова и А.А. Витта была создана прочная математическая основа теории автоколебаний (ее описание, в частности, приведено в докладе²⁹ [17]). Ими был предложен новый подход к изучению нелинейных процессов (или «идейное вооружение» теории автоколебаний, как говорил А.А. Андронов). Он состоял, прежде всего, в формулировке задачи исследования. Согласно А.А. Андронову, задача теории нелинейных колебаний включает в себя следующие требования:

- исследование всевозможных движений динамических систем при любых начальных условиях и взаимоотношений между этими движениями;
- перенесение рассмотрения движений динамической системы в ее фазовое пространство, т. е. использование геометрического подхода Пуанкаре к исследованию дифференциальных уравнений движения;
- изучение превращений, происходящих в фазовом пространстве динамической системы при изменении ее параметров.

Согласно А.А. Андронову, методологический подход к исследованию автоколебательных систем предполагает решение ряда концептуальных вопросов.

1) Какие существуют состояния равновесия? Устойчивы ли они по отношению к достаточно малым отклонениям?

2) Какими будут стационарные движения? Устойчивы ли они по отношению к достаточно малым отклонениям?

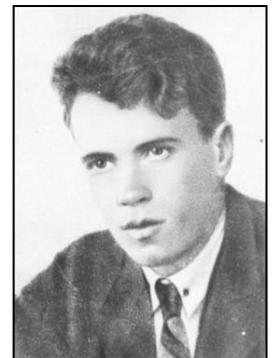
²⁹ Этот доклад был прочитан А.А. Андроновым на Всесоюзной конференции по колебаниям в 1933 г. Он содержит научные результаты, полученные в области теории нелинейных колебаний в период 1928–1931 гг.

3) Каким будет процесс установления стационарных состояний, или, что то же самое, каким будет поведение системы при больших отклонениях от стационарных состояний?

4) Как меняется характер возможных движений при изменении параметров, характеризующих рассматриваемую систему?

Наиболее простая задача — это исследование автоколебаний, возникающих в автономной системе с одной степенью свободы. В этом случае стационарными движениями могут быть только периодические движения. Топологическая картина интегральных кривых сравнительно проста, что позволяет получить ответы на приведенные выше вопросы. В случае двух степеней свободы, даже если система автономна, топологическая картина интегральных кривых существенно усложняется вследствие увеличения числа измерений фазового пространства. Стационарными движениями могут быть не только периодические, но и более сложные движения. Строгая математическая теория периодических режимов в автономной автоколебательной системе с двумя степенями свободы в случае колебаний, близких к синусоидальным, была разработана А.А. Андроновым и А.А. Виттом.

Как мы могли убедиться, в исследованиях нелинейных колебательных систем важнейшую роль сыграл аспирант Л.И. Мандельштама Александр Адольфович Витт (1902–1938)³⁰. В связи с этим уместно привести ряд сведений из его биографии. «Импрессионист», — как говорил о нем Л.И. Мандельштам, — А.А. Витт мало интересовался деталями, но обычно сразу видел окончательный результат и умел до него с необыкновенным оптимизмом добираться. Его оптимистический девиз “все плохое сократится, все хорошее останется” — помог преодолеть многие трудные выкладки, которые ... приводили к ... физически прозрачным окончательным формулам» [Цит. по: 105].



А.А. Витт

А.А. Витт провел ряд фундаментальных исследований по применению теории

³⁰ А.А. Витт был очень способным математиком и физиком. Его эрудицию высоко ценил Б.А. Введенский, нередко обращавшийся к нему по различным математическим вопросам. С.П. Стрелков рассказывал, как «А.А. Витт, сидя на скамейке Сретенского бульвара, обдумывал, выкурив десяток — другой папирос, ход решения задачи, а после этого садился и писал статью. Сегодня поставлена задача, а завтра утром — готова статья» [Цит. по: 105].

нелинейных колебаний к колебательным системам с несколькими степенями свободы и к распределенным автоколебательным системам. О некоторых из них было рассказано выше. В статье А.А. Андропова и А.А. Витта [28] была геометрически доказана теорема об устойчивости периодических движений автономной системы, описываемой дифференциальными уравнениями первого порядка³¹. Эта теорема позволяет сразу сформулировать условия устойчивости автоколебательного периодического процесса. В дальнейшем эта теорема, известная в литературе как теорема Андропова — Витта, была обобщена на неавтономные системы Н.Ф. Отроковым и И.Г. Малкиным. Она широко используется для исследования устойчивости периодических решений.

В 1933 г. А.А. Витт совместно с А.А. Андроновым и Л.С. Понтрягиным³² опубликовал работу [44], значительно опередившую свое время. В ней были изучены переходы системы из одного устойчивого состояния в другое под действием шума. Еще раньше А.А. Андроновым, Л.С. Понтрягиным и А.А. Виттом было исследовано влияние флуктуаций на неконсервативные системы, обладающие несколькими устойчивыми состояниями равновесия. Полученные результаты были использованы и развиты рядом авторов при исследовании флуктуаций в нелинейных колебательных системах. В частности, это позволило оценить степень размытости спектра лампового генератора, а также исследовать вероятность осуществления тех или иных движений в динамической системе, подвергающейся воздействию случайных толчков, интенсивность которых стремится к нулю.

В 1934 г. А.А. Витт совместно с советским микробиологом Г.Ф. Гаузе опубликовал работу [159], посвященную периодическим колебаниям численности особей биологических популяций. В ней была представлена математическая модель

³¹ Эту теорему можно сформулировать следующим образом. Если в автономной системе, описываемой дифференциальными уравнениями первого порядка, характеристический показатель рассматриваемого периодического решения имеет отрицательные действительные части, то рассматриваемое решение устойчиво в смысле Ляпунова.

³² Лев Семенович Понтрягин (1908–1988) — советский математик, один крупнейших математиков XX в., академик АН СССР. Он внес значительный вклад в алгебраическую и дифференциальную топологию, теорию колебаний, вариационное исчисление, теорию управления.

взаимодействия между двумя видами по схеме «хищник — жертва»³³. Г.Ф. Гаузе и А.А. Витт усложнили модель Лотка — Вольтерра, получив релаксационные колебания численности популяций при непрерывном внешнем воздействии. Результаты хорошо согласовывались с экспериментальными данными. Дальнейшие исследования взаимодействия между хищниками и жертвами были представлены в статье [542], опубликованной в 1936 г. А.А. Виттом совместно с Г.Ф. Гаузе и Н.П. Смарагдовой.

Особенное значение для математической экологии имела работа А.А. Витта [543], опубликованная им совместно с Г.Ф. Гаузе в 1935 г. в международном биологическом журнале «The American Naturalist». Здесь впервые было показано, что, в зависимости от значений коэффициентов борьбы за существование между видами, осуществляется либо полное вытеснение одного вида другим (принцип конкурентного исключения), либо бесконечно долгое независимое существование двух видов, либо их симбиоз. Выводы этой работы вошли во многие учебники экологии. Более подробно научный вклад А.А. Витта в теорию нелинейных колебаний рассмотрен в материалах П.С. Ланды [301], Г.А. Бендрикова и Г.А. Сидоровой [105].

Нельзя не сказать хотя бы несколько слов о педагогической деятельности А.А. Витта. Он вел аспирантский семинар по теории колебаний. Его участниками были С.П. Стрелков, А.П. Скибарко, Г.Б. Петросян, П.А. Рязин, Л.М. Белявская, Е.Н. Секерская и др. На семинаре рассматривались различные вопросы нелинейной теории колебаний. При этом содержание докладов было опубликовано в различных журналах, а часть материала вошла в книгу «Теория колебаний. Часть I». В 1930-е гг. большое значение имело распространение нелинейных идей и методов на область радиофизики. В связи с этим была создана вечерняя аспирантура для ведущих инженеров ряда НИИ.

В 1933–1934 гг. А.А. Витт руководил семинаром по теории колебаний для аспирантов-вечерников. Кроме того, он проводил консультации для аспирантов Теплотехнического института. А.А. Витт руководил аспирантами дневного отделения (Г.А. Бендриков, Г.Д. Малюжинец, Г.Б. Петросян, Е.Н. Секерская) и аспирантами вечернего отделения (А.Е. Безменов, И.А. Домбровский и др.). Под его руководством защитили диссертации П.А. Рязин и А.Е. Безменов.

Вернемся к обсуждению научных достижений А.А. Андропова. Он давно

³³ Одними из первых моделей подобных взаимодействий были модели А. Лотка и В. Вольтерра, описывающие незатухающие колебания в системе вблизи равновесия.

интересовался вопросами астрофизики и предложил своему аспиранту С.А. Жевакину заняться теоретическим изучением механизма колебаний цефеид. Этот класс звезд представляет собой пульсирующие переменные звезды с достаточно точной зависимостью «период — светимость». Начатая работа была прервана Великой отечественной войной и возобновлена в 1946 г. Впоследствии С.А. Жевакиным была объяснена природа переменности блеска цефеид и предложена теория самовозбуждения колебаний в цефеидах.

Оценивая научный вклад А.А. Андропова в теорию нелинейных колебаний, можно сказать, что его исследования «способствовали превращению учения об автоколебаниях и родственных им явлениях из набора отрывочных результатов и расчетных рецептов в новую, прекрасную главу теории колебаний» [185. С. 452]. В значительной степени на этот процесс повлиял выход в свет книги «Теория колебаний. Часть I» [76]. В ней приведено подробное изложение теории колебаний автономных систем с одной степенью свободы на основе математического аппарата, адекватного рассматриваемым нелинейным проблемам.

Здесь необходимо сказать несколько слов о создании, судьбе и влиянии этой книги. В период ее написания А.А. Андронов уже переехал из Москвы в Горький (об этом мы расскажем ниже). Несмотря на это, в курсе теории колебаний А.А. Андропова заметно влияние идей Л.И. Мандельштама (в курсе лекций по теории колебаний, прочитанном Л.И. Мандельштамом в 1930–1932 гг., непосредственное участие принимал А.А. Андронов), особенно в части курса, посвященной распределенным системам.

В курсе А.А. Андропова описаны аспекты нелинейной теории колебаний систем второго порядка, включая вопросы качественной теории дифференциальных уравнений, которых почти не было в курсе Л.И. Мандельштама. Еще одна особенность заключается в том, что курс А.А. Андропова включает разделы, относящиеся к приложениям теории колебаний к электродинамике, электронике и радиотехнике — научным направлениям, составившим предмет радиофизики.

В числе авторов первого издания книги (оно вышло в 1937 г.) не было имени А.А. Витта, «участвовавшего в написании книги наравне с другими авторами, но не указанного в их числе вследствие печальной ошибки» (С.Э. Хайкин) [30. С. 8]. К сожалению, ошибка была не просто печальной, а трагической. Когда была опубликована

эта книга, А.А. Витт был репрессирован и находился в заключении. Как отмечал Е.Л. Фейнберг, «... книгу нельзя было издать с именем “врага народа” Витта на обложке. Однако не издать ее было преступлением перед наукой. Пришлось пойти на тяжелую моральную жертву: оставить на ней лишь имена Андронова и Хайкина. Если эти высоко моральные люди и Л.И. пошли на такой шаг (несомненно, для них это была жертва!), то это свидетельство тому, что эта книга была нужна!» [476. С. 37].

По свидетельству С.М. Рытова, «Андронов, несмотря на то, что вложил свою душу в эту книгу, ее не любил. Не любил именно за то, что там стоят только две фамилии вместо трех, а это было необходимо сделать, иначе бы она вообще не вышла. Андронов никогда не рекомендовал студентам эту книгу...» [449. С. 239]. Впоследствии благодаря усилиям Н.А. Железцова и Е.А. Леонтович было подготовлено второе издание этой книги. Оно вышло в свет в 1959 г., и в числе авторов книги была восстановлена фамилия А.А. Витта [30]. В ней были приведены новые результаты в области теории нелинейных колебаний, в частности, разделы, посвященные использованию метода точечных отображений, теории разрывных колебаний.

Книга «Теория колебаний» стала по-настоящему настольной для целого поколения физиков. Она, как и лекции Л.И. Мандельштама по теории колебаний, остается актуальной и в наши дни. Приведем лишь один пример влияния этой книги на подготовку будущих ученых.

По воспоминаниям Л.С. Понтрягина, «осенью 1952 года я с группой своих учеников начал семинар по теории регулирования и электронике в Стекловском институте. И нашей первой деятельностью было изучение книжки “Теория колебания” Андронова, Витта и Хайкина, конечно не полное, а частичное. Здесь мы впервые познакомились с тем, как работает самоиндукция, взаимоиנדукция, конденсатор и тому подобные вещи. Таким образом, в 1952 году мы как бы приняли от Андронова эстафету занятий прикладной математикой» [403. С. 35].

Говоря о творческом наследии А.А. Андронова, необходимо подчеркнуть, что его работы по теории нелинейных колебаний были широко известны не только в нашей стране, но и за границей. Им было получено персональное приглашение сделать доклад на Первой международной нелинейной конференции, состоявшейся в начале 1933 г. в Париже (см. § 4.1 этой главы). Ее участниками была дана высокая оценка работам А.А. Андронова и А.А. Витта. В своем докладе Н.Д. Папалекси отметил достижения А.А.

Андропова, его сотрудников и учеников, в частности, применение методов качественного анализа дифференциальных уравнений к исследованию нелинейных колебательных систем. Кроме того, обширный доклад, содержащий результаты исследований А.А. Андропова, был представлен Б. Ван-дер-Подем на конференции URSI в Лондоне в 1934 г.

Значительный научный вклад был сделан А.А. Андроновым в разработку качественной теории дифференциальных уравнений. В этой области он выдвинул ряд новых идей и получил важные математические результаты. Так, А.А. Андроновым при участии Л.С. Понтрягина³⁴ была предложена концепция грубых систем (в их совместной статье [43]). Качественный характер движений таких систем не изменяется при достаточно малом изменении параметров. Консервативные системы не являются грубыми: колебания идеального маятника без трения являются периодическими (не затухают); однако периодичность исчезает уже при наличии достаточно малого трения.

Любой генератор незатухающих колебаний обладает характерными свойствами, которые не сохраняются при консервативной идеализации, но правильно отображаются понятием «грубая система». Например, ламповый генератор генерирует колебания (обладает периодическим движением) в некоторой области значений любого параметра: крутизны лампы, сопротивления контура, напряжения питания. Аналогичным свойством обладает любой двигатель. Периодическое движение двигателя изменяет свой период (количественное изменение), но остается периодическим (не изменяется качественно) при не слишком большом изменении нагрузки.

А.А. Андронов обогатил качественную теорию дифференциальных уравнений, предложив новый, эффективный метод их исследования. Его можно охарактеризовать как «исторический» или «эмбриологический» [185]. Можно изучать изменение, развитие качественной картины интегральных кривых дифференциального уравнения при изменении параметра, входящего в уравнение. При непрерывном изменении параметра могут происходить качественные изменения, например, появляются или исчезают предельные циклы, сливаются особые точки (состояния равновесия) и т. д.

³⁴ Лев Семенович Понтрягин (1908–1988)— советский математик, один крупнейших математиков XX в., академик АН СССР. Он внес значительный вклад в алгебраическую и дифференциальную топологию, теорию колебаний, вариационное исчисление, теорию управления.

Новый подход позволяет делать заключения о заданном дифференциальном уравнении, интегральные кривые которого не поддаются непосредственному исследованию. В результате разработанного А.А. Андроновым нового подхода к дифференциальным уравнениям им были установлены (в сотрудничестве со своей женой Е.А. Леонтович — сестрой М.А. Леонтовича) законы появления, исчезновения, взаимного превращения особых точек, предельных циклов и сепаратрис при изменении параметров. Эти законы имеют непосредственный физический смысл. Они позволили А.А. Андронову получить картину двух типов эволюции фазовой плоскости лампового генератора при изменении параметра, характеризующего обратную связь (при мягком и жестком режимах возникновения колебаний).

Будучи автором выдающиеся работ в области теории нелинейных колебаний, А.А. Андронов уделял также значительное внимание вопросам теории линейных колебаний. Так, например, его сотрудниками А.Г. Майером и Е.А. Леонтович было установлено наименьшее возможное значение произведения расплывчатости сигнала во времени и его монохроматичности (1934 г.). Тем самым, была дана точная формулировка имеющего фундаментальное значение для всей теории связи классического аналога соотношения неопределенностей.

А.А. Андронов поставил перед своим аспирантом Ю.И. Неймарком задачу проанализировать с математической точки зрения критерий устойчивости линеаризованных систем, который без строгого обоснования предложил Г. Найквист. Этот критерий широко применяется при расчете усилителей и систем автоматического регулирования. Под влиянием «эмбриологического» подхода к уравнениям (см. выше) Ю.И. Неймарк по-новому подошел к вопросу об устойчивости [371]. Он «заставил» изменяться коэффициенты характеристического уравнения и стал следить за тем, как при этом перемещаются по комплексной плоскости его корни (в этом состоит так называемый метод «D-разбиения»). В результате такого подхода был получен новый, практически важный критерий устойчивости, вошедший во многие учебники.

Следующий важный период в творчестве А.А. Андропова связан с переходом от исследований автоколебаний к изучению вопросов автоматического регулирования. Хронологически этот переход относится к 1936–1939 гг. Система с автоматическим регулированием (например, самолет, снабженный автопилотом) обладает склонностью к автоколебаниям (обычно нежелательным). Но А.А. Андронов усматривал между

теорией автоколебаний и теорией систем с автоматическим регулированием более глубокую связь. Автоколебательные системы и системы с автоматическим регулированием обладают общими физическими свойствами (определяемыми понятием «грубая система», см. выше), характерными для широкого класса машин. Не только автоколебания, но и простейшее периодическое движение двигателя изображается в фазовом пространстве замкнутой кривой, к которой асимптотически приближаются соседние фазовые траектории.

В результате анализа вопросов, связанных с автоматическим регулированием, А.А. Андронов пришел к выводу, что теорию автоколебаний следует рассматривать как одну из составляющих общей динамики машин. При этом методологический подход к изучению систем с автоматическим регулированием должен включать в себя:

- исследование их фазового пространства;
- определение областей значений параметров, соответствующих различным типам его разбиения на траектории;
- классификацию машин по характеру этого разбиения.

Важно отметить, что структура фазового пространства, отображающая динамическое поведение машин, существенно зависит от входящих в состав машины систем автоматического регулирования.

Значительную роль в развитии работ А.А. Андропова по теории автоматического регулирования сыграло его знакомство и сотрудничество с И.Н. Вознесенским³⁵. Исчерпывающее знание литературы (в том числе, историко-научных материалов) позволило А.А. Андронову сфокусировать свое внимание на вопросах, имеющих фундаментальное значение для теории автоматического регулирования.

Кроме того, в Москве он посетил первую Всесоюзную конференцию по теории автоматического регулирования. В результате он не только собрал необходимый материал для решения задачи о влиянии сил сухого трения на процесс прямого

³⁵ Иван Николаевич Вознесенский (1887–1946) — член-корреспондент АН СССР, выдающийся специалист в области гидромашиностроения и автоматического регулирования машин. Он разработал теорию и практические способы расчёта систем регулирования конденсационных и теплофикационных турбин и паровых котлов, а также руководил проектированием и строительством мощных турбин для ряда гидроэлектростанций и пропеллерных насосов для канала имени Москвы (1935 г.).

регулирования, но и познакомился со многими другими задачами теории автоматического регулирования, а также установил связи с учеными в этой области.

Подавляющее число исследований, выполненных до А.А. Андропова по теории автоматического регулирования, было посвящено влиянию сухого трения на процесс регулирования (работы Н.Е. Жуковского, Р. Мизеса, А. Стодола и др.). Однако разработанные при этом методы не применялись к решению нелинейных задач. Тем самым, для развития теории автоматического регулирования было крайне необходимо экстраполировать методы теории колебаний в теорию автоматического регулирования. С этой задачей справились А.А. Андронов и его ученики. Успех был обусловлен разработкой эффективного метода исследования многомерных динамических систем — метода точечных преобразований (отображений)³⁶.

Вкратце суть метода точечных отображений [370] состоит в изучении поведения последовательных точек пересечения фазовых траекторий некоторой поверхностью (секущей поверхностью) — в случае трехмерного фазового пространства или так называемым отрезком без контакта — в случае двумерного фазового пространства (плоскости). Последовательность точек пересечения образует некоторое точечное преобразование (отображение), однозначно определяющее структуру рассматриваемой динамической системы. Например, периодическим решениям дифференциальных уравнений (или, что то же самое, замкнутым траекториям фазового пространства динамической системы) ставятся в соответствие неподвижные точки соответствующего точечного отображения.

В настоящее время метод точечных отображений стал одним из наиболее общих математических методов с развитой и разветвленной теорией, многочисленными связями и приложениями, став по существу дискретным аналогом теории дифференциальных уравнений. Более того, теорию дифференциальных уравнений можно рассматривать как предельный случай теории точечных отображений.

Благодаря А.А. Андронову метод точечных отображений был введен в теорию нелинейных колебаний. Результаты его применения к нелинейным задачам вошли в первое издание книги «Теория колебаний. Часть I» [45]. В ней были рассмотрены модели маятниковых часов и автоколебания лампового генератора с Z -характеристикой

³⁶ При его создании А.А. Андроновым были привлечены теория секущей поверхности Пуанкаре и теория точечных преобразований Пуанкаре — Брауера — Биркгофа [366].

зависимости анодного тока от напряжения на сетке. В обеих задачах рассмотрение сводилось к исследованию точечного отображения прямой в прямую.

Следующий этап развития метода точечных отображений в теории нелинейных колебаний связан с исследованием многомерных динамических систем, с которыми А.А. Андронов и его ученики столкнулись при решении нелинейных задач теории автоматического регулирования. При этом они рассмотрели класс нелинейных задач, которые могут быть интерпретированы как кусочно-линейные и при исследовании которых может быть эффективно использован метод точечных отображений.

Их решение привело к созданию математического аппарата:

- для локального исследования точечного преобразования вблизи неподвижных точек;
- исследования динамических систем, описываемых нелинейными дифференциальными уравнениями второго и третьего порядков с кусочно-линейными характеристиками.

Кусочно-линейная аппроксимация нелинейных характеристик позволила разбить фазовое пространство динамической системы на области, в каждой из которых поведение динамической системы может быть описано системой линейных дифференциальных уравнений и, стало быть, легко определяемо. При переходе изображающей точки из одной области фазового пространства в другую полученные решения «склеиваются» («сшиваются», «припасовываются») по непрерывности, как это делалось в методе припасовывания.

Многочисленные задачи, решенные А.А. Андроновым совместно с А.Г. Майером, Г.С. Гореликом, Н.Н. Баутиным и др. в области теории автоматического регулирования, можно условно разделить на две группы:

- влияние сил сухого трения на процесс прямого и непрямого регулирования;
- влияние нелинейных характеристик сервомоторов на протекание процесса регулирования.

Ряд основных задач теории автоматического регулирования являются более сложными, чем нелинейные задачи в радиотехнике. Это обусловлено двумя обстоятельствами.

Во-первых, в отличие от ламповых генераторов даже простейшие системы автоматического регулирования должны рассматриваться как системы, имеющие

больше чем одну степень свободы. Следовательно, их теоретическое исследование приводит к необходимости рассмотрения не фазовой плоскости, а фазового пространства трех, четырех и более измерений. Разумеется, с ростом числа измерений фазового пространства математические расчеты многократно усложняются.

Во-вторых, теория автоматического регулирования чаще, чем радиотехника, имеет дело с автоколебаниями, отличными от синусоидальных. Такие колебания не могут быть исследованы с помощью приближенных методов, использующих синусоидальные колебания в качестве нулевого приближения.

Укажем основные задачи, которые были проанализированы и решены А.А. Андроновым и его учениками в области теории автоматического регулирования.

- А.А. Андронов и А.Г. Майер. «Задача Мизеса в теории прямого регулирования и теория точечных преобразований поверхностей» (1944 г.) [40].

В работе рассматривается основная задача теории прямого регулирования при учете кулоновского трения в индикаторе. При этом выполнено: а) сведение нелинейной динамической задачи к точечному преобразованию плоскости в плоскость; б) полный качественный анализ возможных движений, имеющих место при различных начальных условиях; в) приближенное количественное рассмотрение поведения сепаратрисы неустойчивого периодического движения, позволяющее оценить те изменения нагрузки машины, при которых процесс регулирования остается сходящимся.

- А.А. Андронов и А.Г. Майер. «О задаче Вышнеградского в теории прямого регулирования» (1945 г.) [41], «Задача Вышнеградского в теории прямого регулирования, I (теория регулятора Уатта при наличии кулоновского и вязкого трения)» (1947 г.) [39].

Данные работы являются логическим продолжением и завершением классического труда И.А. Вышнеградского³⁷ «О регуляторах прямого действия» (1876 г.). Речь идет о паровой машине с центробежным регулятором. Несмотря на кажущуюся

³⁷ Иван Алексеевич Вышнеградский (1831–1895) — русский ученый-механик и государственный деятель, основоположник теории автоматического регулирования, почетный член Петербургской АН. Он сыграл большую роль в создании научных основ конструирования машин, создал научную школу инженеров-машиностроителей. В работе «О регуляторах прямого действия» И.А. Вышнеградский представил метод расчета регуляторов этого типа, сформулировал условие устойчивости системы регулирования (критерий Вышнеградского).

простоту устройства, создание его динамической теории оказалось нетривиальной задачей. Для того чтобы передать существенные черты поведения машины, снабженной центробежным регулятором, необходимо исследовать систему трех дифференциальных уравнений первого порядка, т. е. не фазовую плоскость, а трехмерное фазовое пространство. Из-за наличия сухого трения в муфте регулятора дифференциальные уравнения являются нелинейными.

Задача об устойчивости работы машины, снабженной регулятором, была решена И.А. Вышнеградским в предположении, что сухое трение в муфте регулятора отсутствует. При таком приближении уравнения движения системы становятся линейными. Трехмерная нелинейная задача, возникающая при учете сухого трения в муфте, оставалась нерешенной из-за значительной математической трудности. Хотя над ней работали многие видные ученые (Н.Е. Жуковский, А. Стодола, Я.И. Грдина, Р. Мизес и др.).

А.А. Андронов и А.Г. Майер решили задачу о движении системы «машина — регулятор Уатта» при наличии кулоновского и вязкого трения в муфте и сочленениях регулятора. Они провели исследование поведения интегральных кривых во всем трехмерном фазовом пространстве при всех значениях параметров, а также построили диаграммы для решения вопроса о сходимости и расходимости процесса регулирования при заданных конструктивных параметрах и заданных изменениях нагрузки машины.

- А.А. Андронов и Н.Н. Баутин «Движение нейтрального самолета, снабженного автопилотом, и теория точечных преобразований поверхностей» (1944 г.) [20], «Стабилизация курса нейтрального самолета автопилотом с постоянной скоростью сервомотора и зоной нечувствительности» (1945 г.) [22].

В этих двух статьях рассматривается задача о стабилизации курса нейтрального самолета автопилотом с постоянной скоростью сервомотора как для случая отсутствия зоны нечувствительности, так и в случае наличия такой зоны. Полученные результаты позволяют установить те значения параметров системы «самолет — автопилот», при которых имеет место устойчивая стабилизация курса, а также в тех случаях, когда автоматическое устройство перестает справляться со своей задачей.

- А.А. Андронов, Н.Н. Баутин и Г.С. Горелик «Автоколебания простейшей схемы, содержащей автоматический винт изменяемого шага» (1945) [23].

В работе исследуется система «коленчатый вал — лопасти винта — индикатор» и

изучаются условия подавления автоколебаний, осложняющих на практике правильное функционирование винтов изменяемого шага.

- А.А. Андронов и Н.Н. Баутин «О влиянии кулоновского трения в золотнике на процесс непрямого регулирования» (1950 г.) [21].

В работе путем сведения нелинейной динамической проблемы к точечным преобразованиям прямой в прямую приводится полное решение задачи о влиянии кулоновского трения в золотнике на процесс непрямого регулирования в случае наличия жесткой обратной связи и в случае объекта, как не обладающего саморегулированием, так и обладающего саморегулированием.

Подытоживая, отметим, что в 1944 г. на сессии Отделения физико-математических наук АН СССР А.А. Андронов сделал доклад, в котором изложил теоретические основы метода точечных преобразований. Его применение к нелинейным задачам теории автоматического регулирования (к задачам, которые могут быть рассмотрены как кусочно-линейные) включило в сферу теории нелинейных колебаний новый большой класс динамических систем (с размерностью больше двух).

Работы научной школы А.А. Андропова в области теории автоматического регулирования сыграли значительную роль в развитии этой научной области, причем не только в СССР, но и в США. В доказательство этого факта приведем выдержку из письма А.А. Андропова Н.Д. Папалекси, находящегося в архивах РАН.

«Обратите ли Вы внимание на резкое повышение интереса к нелинейным колебаниям в Америке? По-видимому, это связано, в известной мере, с потребностями теории регулирования. В Америке уже состоялись две конференции по теории нелинейных колебаний. Одна в январе 1942 года в Нью-Йорке, другая — в августе 1942 года — в Провиденсе вблизи Нью-Йорка» [70. Л. 6, 6об]. Полный текст данного письма приведен в Приложении 6.

Рассмотрим еще ряд работ, выполненных А.А. Андроновым и его учениками. Особое место в общей динамике машин занимает теория часов. А.А. Андронов начал исследование часов как замкнутой динамической системы с модели простейших догалилеевских часов (без маятника). По его предложению изучением моделей часов Галилея — Гюйгенса (часов с маятником или балансиром), имеющих две степени свободы, занялся Н.Н. Баутин. Он выяснил, какие динамические особенности данных часов обеспечивают стабильность периода автоколебаний.

Значительный вклад в теорию часов внес и другой ученик А.А. Андропова Ю.И. Неймарк. В их совместной статье [42] рассмотрена упрощенная модель часов, в которой, с одной стороны, сохранены основные особенности часов как неконсервативной динамической системы с двумя степенями свободы, а с другой стороны, сведены к минимуму вычислительные трудности.

В связи с общей динамикой машин А.А. Андронов интересовался также и теорией электрических машин. Знание их фазового пространства необходимо для понимания поведения таких машин в автоматически регулируемых системах. А.А. Андронов обнаружил, что не существует достаточно общих и корректных методов составления уравнений движения униполярных и коллекторных машин. Его аспиранту А.В. Гапонову удалось показать, что при некоторых разумных упрощениях коллекторные и униполярные машины принадлежат с общей динамической точки зрения к классу неголономных систем типа Чаплыгина. В дальнейшем были получены общие уравнения движения, используемые для любой комбинации коллекторных, бесколлекторных и униполярных машин.

На этом мы закончим обзор научной деятельности А.А. Андропова. Следует сказать о том, что во время Великой Отечественной войны он и его сотрудники выполняли по заданиям конструкторских бюро работы оборонного характера (магнитная защита кораблей, траление магнитных и антенных мин). За полученные результаты в 1944 г. А.А. Андронов был награжден орденом «Красная Звезда».

Отметим также, что, не являясь членом-корреспондентом АН СССР, А.А. Андронов 30 ноября 1946 г. был сразу избран академиком по ОТН (механика, радиофизика, автоматическое регулирование). В 1947 г. он стал депутатом Верховного Совета РСФСР, а в 1950 г. — депутатом Верховного Совета СССР.

По инициативе и под руководством А.А. Андропова была проведена большая работа по изучению жизни и деятельности Н.И. Лобачевского. Поиски исторических документов показали, что он родился в Н. Новгороде. Эти изыскания в значительной степени способствовали тому, что Нижегородский университет носит имя Н.И. Лобачевского. Упомянем также работы А.А. Андропова, посвященные предыстории и развитию теории автоматического регулирования (его перу принадлежит обстоятельный историко-научный обзор [31], написанный совместно с И.Н. Вознесенским), материалы о научной биографии Л.И. Мандельштама.

31 октября 1952 г. А.А. Андронova не стало. В возрасте 51 года он умер от тяжелой формы гипертонии.

Становление научной школы. Возникновение научной школы А.А. Андронova связано с разработкой теории нелинейных колебаний и ее применением к изучению колебательных систем различной природы. Для их адекватного описания было необходимо создать прочный математический фундамент. Как писал А.А. Андронов: «необходимо произвести реконструкцию существующего математического аппарата, необходимо отыскать аппарат, который был бы адекватен отображаемым процессам и который был бы, кроме того, достаточно эффективен» [18. С. 56].

Гений А.А. Андронova проявился в том, что он разработал его уже в своей диссертационной работе. Но для обоснования эффективности выдвинутых теоретических идей и методов было крайне важно проверить их на практике, а именно применить к изучению и решению ряда актуальных вопросов (прежде всего, радиофизических). Ясно, что без активного привлечения к исследованиям сотрудников и учеников, А.А. Андронову было бы затруднительно справиться с такой масштабной задачей. Это и стало одной из причин (но не единственной), повлиявшей на становление его научной школы. Обсудим факторы, сыгравшие важнейшую роль в этом процессе.

Во-первых, годы учебы А.А. Андронova в МГУ совпали с началом расцвета Московской математической школы (ее основатель Н.Н. Лузин). Курс математики был единым для математиков и для физиков. В силу того, что А.А. Андронов проявлял значительный интерес к этому курсу, он приобрел значительно более глубокие знания в области математики, чем физики-теоретики. А.А. Андронов много занимался теоретической механикой (возможно, под влиянием С.А. Чаплыгина).

Несомненно, именно эти знания позволили А.А. Андронову разработать математический аппарат теории нелинейных колебаний. Его учеников также отличала высокая математическая культура, благодаря которой им удавалось решать сложные задачи теории нелинейных колебаний и теории автоматического регулирования.

Во-вторых, мы не случайно так много внимания уделили работе А.А. Андронova «Пределные циклы Пуанкаре и теория колебаний» [538], так как она задала направление всей дальнейшей научной деятельности А.А. Андронova и его школы. Л.И. Мандельштам высоко оценил значение результатов, достигнутых его учеником. «Здесь мы имеем», — говорил он, — действительно адекватный нашим нелинейным задачам,

не имеющий “линейных воспоминаний” математический аппарат, пусть недостаточно разработанный. Опираясь на этот аппарат, можно будет создать новые понятия, специфичные для нелинейных систем, можно будет выработать новые руководящие точки зрения, которые позволят мыслить нелинейно» [110. С. 32, 33]. История развития радиофизики свидетельствует о том, что А.А. Андронов и его ученики добились выдающихся успехов на пути реализации замыслов Л.И. Мандельштама.

В-третьих, на формирование научного мировоззрения, стиля руководства и особенностей научной школы А.А. Андропова существенный отпечаток наложило его творческое взаимодействие с Л.И. Мандельштамом. Оно происходило не только при обучении А.А. Андропова в аспирантуре, но и продолжалось и после его отъезда из Москвы в Горький в 1932 г.³⁸

На этом периоде жизни А.А. Андропова следует остановиться подробно, так как именно в Горьком (ГИФТИ и ГГУ) сложилась его научная школа в области теории нелинейных колебаний. Вместе с А.А. Андроновым туда приехали Е.А. Леонтович, М.Т. Грехова, В.И. Гапонов, А.Г. Любина. В 1937 г. к ним присоединился Г.С. Горелик. Причин для их переезда было много, в частности, искренняя забота о развитии отечественной науки и стремление создать подлинный научный центр в провинции.

Для успешного развития науки в Горьком было важно совместить собственные научные интересы ученых с военными и общественными запросами страны. По этому поводу М.А. Миллер писал: «...Хорошо было бы придумать Сверхновую науку с весомой значимостью, удовлетворяющую всем притязательным требованиям. Новая наука должна была... вписаться в радиотехнические традиции, оставленные бывшей Нижегородской Радиолaborаторией!» [347. С. 47]. Такой наукой и стала радиофизика, объектами изучения которой стали, в том числе, радиоэлектронные и радиолокационные устройства. Их разработка была весьма актуальна для военно-промышленного

³⁸ В своей автобиографии А.А. Андронов писал: «В конце 1931 г. я подал заявление в Сектор науки Наркомпроса о желании работать в провинции. Наркомпрос меня направил в Горький, куда я переехал в 1932 г. и где в настоящее время я заведу кафедрой теоретической физики и теории колебаний Горьковского государственного университета, а также веду курс “Теоретическая радиотехника” в Горьковском индустриальном институте» [479. С. 329]. Как отмечал Л.С. Понтрягин, «будучи аспирантом Московского университета, Андронов всячески старался направлять молодежь, оканчивающую аспирантуру, в провинцию...» [403. С. 34].

комплекса нашей страны.

В ГИФТИ А.А. Андронов заведовал теоретическим отделом (в 1946 г. он был переименован в отдел теории колебаний и теории автоматического регулирования). В 1933 г. А.А. Андронов организовал в ГГУ кафедру теории колебаний, а в 1938 г. он стал заведующим объединенной кафедрой теоретической физики и теории колебаний, которая в 1945 г. вошла в состав радиофизического факультета ГГУ. Он был организован в 1945 г. благодаря усилиям А.А. Андропова, М.Т. Греховой, Г.С. Горелика. Первоначально радиофизический факультет назывался специальным факультетом, на котором соблюдался режим секретности³⁹. Его первым деканом стала М.Т. Грехова. Вскоре вокруг А.А. Андропова объединилась группа молодых ученых и преподавателей, ставших представителями его научной школы. В разные годы с ним работали: А.С. Алексеев, А.Г. Майер, Е.А. Леонтович, М.Я. Ширококов, А.Г. Самойлович, С.В. Беллюстин, Н.П. Власов, Н.Н. Баутин, Н.В. Бутенин, Н.А. Железцов, Ю.И. Неймарк, С.А. Жевакин, И.Л. Берштейн, А.В. Гапонов-Грехов и др.

Научной базой для подготовки студентов был ГИФТИ⁴⁰. Почему же местом основания радиофизического факультета стал именно Горький? Это достаточно просто объяснить. Во-первых, этот город уже тогда был одним из крупнейших центров радиоэлектронной промышленности. Во-вторых, с начала деятельности НРЛ здесь жили и работали ученые, известные своими исследованиями по теории колебаний, распространению радиоволн, электродинамике и СВЧ-электронике: В.П. Лебединский, М.А. Бонч-Бруевич, В.П. Вологдин, В.А. Котельников, А.А. Пистолькорс (см. главу 2).

Радиофизический факультет начал работу в составе пяти кафедр: 1) электроники

³⁹ Решение об организации «специального радиофизического факультета для подготовки специалистов в области радиофизики для научно-исследовательских институтов и заводских лабораторий радиолокационной и электровакуумной промышленности» было принято СНК СССР 29 июня 1945 г.

⁴⁰ Впоследствии ей стал НИРФИ (с 1956 г.), НИИ ПМК (с 1964 г.) и НИИ механики (с 1974 г.). Спустя некоторое время НИРФИ разделился, и новый ИПФ возглавил А.В. Гапонов-Грехов, а отделившийся от ИПФ Институт физики микроструктур РАН — его брат С.В. Гапонов. История Нижегородской радиофизической школы, которую называют одной из самых динамично развивающихся научных школ РФ, тесно связана с двумя поколениями ученых из этой семьи (М.Т. Греховой и В.И. Гапонова).

и физики сверхвысоких частот; 2) теории колебаний и автоматического регулирования; 3) распространения радиоволн; 4) радиотехники и радиолокации; 5) общей физики. По мнению А.В. Гапонова-Грехова, он представлял собой «учебное заведение принципиально нового типа. Нужны инженеры, владеющие фундаментальной наукой и фундаментальные ученые, которые владеют инженерными знаниями, инженерными способностями. Эта идея и была заложена в организацию радиофизического факультета» [Цит. по: 206].

Создатели нового факультета считали, что он должен готовить высококлассных специалистов, способных проводить физические исследования с использованием радиоаппаратуры и соответствующих радиофизических методов. При этом они должны уметь разрабатывать инновационные приборы, основанные на последних научных достижениях. Перед факультетом была поставлена и вполне конкретная задача обеспечения кадрами предприятий, занимавшихся радиолокационными и радиоэлектронными разработками.

В 1947 г. на закрытом совещании под руководством А.И. Берга М.Т. Грехова и Г.С. Горелик представили разработанные ими первые образовательные программы по специальности «Радиофизика и электроника». В этом же году состоялся первый выпуск ученых-радиофизиков. К 1949 г. преподавателями и ассистентами радиофизического факультета стали его первые выпускники (А.В. Гапонов-Грехов, Г.Г. Гетманцев, позже В.А. Зверев, Н.А. Фуфаев, М.И. Кузнецов и др.).

«Студенты должны получать науку из первых рук» — так звучит педагогическое кредо радиофизического факультета [Цит. по: 375]. С первых лет его существования по инициативе А.А. Андропова к преподаванию были привлечены выдающиеся ученые: В.Л. Гинзбург (в Н. Новгороде он основал научную школу в области радиоастрономии, теории распространения радиоволн и физики ионосферы), А.Г. Майер, С.М. Рытов, Е.Л. Фейнберг, М.Л. Левин.

Ими были созданы учебные планы и новые лекционные курсы, в которых они рассказывали студентам о магистральных проблемах радиофизики (в широком понимании ее предмета) и последних достижениях в этой стремительно развивающейся научной дисциплины. Многие страницы знаменитой книги Г.С. Горелика «Колебания и волны» [176], о которой мы подробно расскажем в следующем параграфе, были задуманы и написаны за рабочим столом, в учебных аудиториях и в лабораториях

факультета.

Прочитанные студентам лекции легли в основу ставших классическими монографий В.Л. Гинзбурга [161] и Е.Л. Фейнберга [473]. В центральных издательствах страны были опубликованы и переведены на многие языки книги по радиооптике, статистической радиофизике, нелинейной акустике, физике ионосферы, ряд монографий по теории распространения волн в различных средах. В 1958 г. при радиофизическом факультете был создан и собственный научный журнал: «Известия вузов. Радиофизика»⁴¹, который впоследствии стал международным изданием. Кроме того, по предложению радиофизического факультета в Горьком регулярно собирались ученые институтов и университетов СССР для участия во Всесоюзной школе по нелинейным колебаниям (в настоящее время проводятся научные конференции по радиофизике).

Традиции радиофизической культуры, заложенной основателями факультета, бережно сохраняются, развиваются их учениками и передаются новым поколениям ученых-радиофизиков. Среди выпускников факультета 4 академика (А.В. Гапонов-Грехов, В.И. Ильичев, В.И. Таланов, В.В. Железняков) и 4 члена-корреспондента РАН, около 100 докторов наук и более 800 кандидатов наук, директора и ведущие специалисты крупнейших академических институтов, исследовательских центров, предприятий и вузов, руководители администрации Нижегородской области.

Обсудим, по каким направлениям проводились исследования в научной школе А.А. Андропова в ГГУ [62]. Работы, проведенные в период 1931–1941 гг., сам А.А. Андронов условно разделил на три направления.

1) Развитие качественной теории дифференциальных уравнений и ее приложений к проблемам теории нелинейных колебаний и теории автоматического регулирования.

2) Применение методов теории нелинейных колебаний к задачам радиотехники и механики.

3) Исследования в некоторых разделах теоретической физики, связанных с вопросами физики колебаний.

О наиболее важных результатах в этих областях было подробно рассказано. Опираясь на новое идейное и математическое «вооружение» теории нелинейных

⁴¹ С момента основания и вплоть до назначения главным редактором «Успехов физических наук» журналом руководил В.Л. Гинзбург. С 1998 г. главным редактором журнала был В.В. Железняков, с 2016 г. им является В.В. Кочаровский.

колебаний и теории автоматического регулирования, ученики А.А. Андропова смогли добиться существенных результатов в ряде направлений общей динамики машин. Речь идет о достижениях:

- в динамике релейных систем автоматического регулирования (Ю.И. Неймарк);
- в динамике часов (Н.Н. Баутин);
- в теории электрических машин и неголономных систем (А.В. Гапонов, Ю.И. Неймарк, Н.А. Фуфаев);
- в теории сервомеханизмов с запаздыванием (Я.Н. Николаев);
- в теории электромагнитного прерывателя (Н.А. Фуфаев);
- в теории некоторых регуляторов (А.С. Алексеев) и виброударных механизмов (Ю.И. Неймарк, Л.В. Беспалова).

Кроме того, сотрудники А.А. Андропова применили метод точечных преобразований к решению радиотехнических задач, посвященных:

- осциллятору с линейным и кулоновским трением (Н.А. Железцов);
- теории симметричного мультивибратора (Н.А. Железцов, Л.В. Родыгин);
- генератору с амплитудным ограничителем (А.С. Алексеев);
- триггеру (М.И. Фейгин);
- синхронизации мультивибратора периодическими импульсами (А.С. Алексеев, Н.А. Железцов, М.И. Клибанова) и др.

Долгое время считалось, что в отличие от оптического излучения (принципиально не монохроматического), радиоизлучение лампового генератора является идеально монохроматическим. Но Л.И. Мандельштам показал, что такое противопоставление физически неверно: флуктуации с неизбежностью приводят к размытию частоты автоколебательной системы. Вопрос же о том, как влияют флуктуации на автоколебательную систему, был мало изучен. По предложению и под руководством А.А. Андропова И.Л. Берштейном было проведено теоретическое исследование, позволившее дать количественную оценку обусловленной флуктуациями относительной ширины линии лампового генератора ($\sim 10^{-13}$).

Работы в области флуктуаций оказали значительное влияние на развитие экспериментальных исследований в ГГУ. Экспериментальная проверка теоретической оценки ширины линии лампового генератора привела к созданию нового фазометрического метода (его автор И.Л. Берштейн), «открывшего ряд неожиданных

возможностей в радиофизике и оптике» [185. С. 458]. В послевоенные годы А.А. Андронов активно участвовал в работе ИАТ АН СССР (ныне Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова). Он организовал в этом институте постоянно действующий научный семинар, на котором во время его приездов в Москву обсуждались актуальные проблемы теории нелинейных колебаний и теории автоматического регулирования. С 1944 г. А.А. Андронов занимал должность старшего научного сотрудника института, а с 1946 г. — руководил отделом автоматического регулирования. Отметим, что под руководством А.А. Андропова в ИАТ работали многие выдающиеся физики: М.А. Айзерман, М.В. Мееров, Я.З. Цыпкин, В.В. Петров, А.Я. Лернер, В.В. Солодовников, А.А. Фельдбаум и др.

Итак, становление научной школы А.А. Андропова происходило на радиофизическом факультете ГГУ, в ГИФТИ и ИАТ.

Исследовательская программа научной школы. Будучи представителем научной школы Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси, А.А. Андронов активно поддерживал и развивал ее исследовательскую программу. А.А. Андронов и его сотрудники внесли основополагающий вклад в создание математического аппарата теории нелинейных колебаний, разработку ее методов и их применение к различным вопросам физики и техники. Вместе с тем, они существенно продвинулись вперед на пути ее совершенствования и адаптации к новым объектам изучения (например, системам с автоматическим регулированием).

Деятельность научной школы А.А. Андропова характеризуется, с одной стороны высоким теоретическим уровнем полученных результатов, а с другой — их прикладной направленностью: многие теоретические достижения были доведены до инженерных расчетов и построения графиков и диаграмм, применяемых на практике.

Исследовательскую программу научной школы А.А. Андропова можно сформулировать следующим образом. **Создание и усовершенствование теории нелинейных колебаний, основанной на качественной теории дифференциальных уравнений и методе точечных отображений, применение ее методов к различным вопросам радиофизики и теории автоматического регулирования.**

Важно обратить внимание на то, что исследовательская программа А.А. Андропова ставила во главу угла обязательный учет нелинейностей. Благодаря исследованиям нелинейных закономерностей А.А. Андронову и его последователям

удалось расширить границы применимости математического аппарата теории нелинейных колебаний и распространить его на изучение нелинейных колебательных закономерностей в динамических системах любой природы. Именно такой подход лежит в основе Нижегородской радиофизической школы и в настоящее время.

Нельзя не сказать о том, что исследовательская программа научной школы А.А. Андропова стала достаточно быстро известна научному сообществу. Это обусловлено, как ее высоким эвристическим потенциалом, так и поддержкой со стороны Л.И. Мандельштама. Он первым указал на широкие возможности, заложенные в исследовательской программе А.А. Андропова. Кроме того, Л.И. Мандельштам проявлял значительный интерес к работам А.А. Андропова и А.А. Витта по применению методов теории нелинейных колебаний к изучению радиофизических задач.

Исследовательская программа научной школы А.А. Андропова претерпевала изменения в связи с решением возникающих задач в области теории нелинейных колебаний, а затем и теории автоматического регулирования. Эту эволюцию можно проследить по описанию результатов научной деятельности и публикациям А.А. Андропова и его сотрудников.

Стиль руководства в научной школе. Наряду с научной работой А.А. Андронов активно занимался педагогической деятельностью. Еще до окончания МГУ он начал преподавать во 2-ом МГУ (сейчас — МПГУ) в качестве ассистента, а затем — доцента на кафедре теоретической физики (1924–1931 гг.). В этом учебном заведении он вел занятия по механике и теоретической физике. Работая во 2-ом МГУ, А.А. Андронов стал научным сотрудником ВЭИ (1929–1930 гг.). Однако в связи с закрытием отдела физики ВЭИ в 1930 г. он вернулся в НИИФ МГУ в качестве научного сотрудника отдела колебаний. В 1935 г. А.А. Андронов был утвержден в ученой степени доктора физико-математических наук.

А.А. Андронов придавал исключительное значение уровню преподавания в ГГУ и постоянно заботился о его росте. Он создал курс теории колебаний, читал лекционные курсы «Теория колебаний», «Теория электромагнитного поля», публичные лекции и др. Яркие, глубоко продуманные лекции А.А. Андропова неизменно вызывали интерес со стороны студентов.

Ю.И. Неймарк вспоминал, что он «никогда в жизни не слышал лекций столь проникновенных, содержательных и производящих неизгладимое впечатление, как

публичные лекции Александра Александровича Андропова. Две из них я запомнил на всю жизнь: об А.Н. Крылове в связи с его смертью и о кибернетике. В первой лекции меня потрясли широта научного мышления и деятельности А.Н. Крылова, богатство его души и ума и то, как все это было преподнесено и рассказано. Вторая стала как бы заложенной в меня программой действий...» [371. С. 54].

В результате трудной организационной работы по созданию условий для научно-исследовательской и педагогической деятельности, которая была проведена А.А. Андроновым и его последователями, в ГГУ стал преобладать «андроновский стиль»: высокая требовательность, ответственность, принципиальность, научный и педагогический энтузиазм. Благодаря проделанной работе, уровень преподавания и подготовка специалистов по физике и математике в ГГУ достигли уровня столичных вузов. А.А. Андронов считал, что для провинциальных вузов опасен отрыв преподавания от переднего края науки и техники, поэтому он был активным сторонником связи ГГУ с НИИ, работающих в г. Горьком и других городах СССР.

А.А. Андронов создал ряд научных семинаров, которые, несомненно, стали подлинной школой для многих ученых. Так, в ГГУ он руководил семинарами по теории нелинейных колебаний, качественной теории динамических систем, теории электрических машин и др. Н.Н. Баутин отмечал, что «на его научных семинарах обсуждение носило очень свободный характер. Александр Александрович мгновенно понимал чужую точку зрения. И менял свою, если она была неправильна. Он тут же признавался, если допустил какой-нибудь промах, хотя промахи случались у него крайне редко. Но, с другой стороны, почти всегда за тремя-четырьмя фразами, которые он произносил, мы видели глубокое понимание предмета, ситуации, природы вещей и чувствовали, насколько наше понимание примитивней и неоформленней» [195. С. 276].

О высоком научном статусе семинара А.А. Андропова свидетельствует тот факт, что его участники получили чрезвычайно ценные научные результаты. Например, выполненное аспирантом А.А. Андропова А.В. Гапоновым исследование по теории электрических машин стало отправной точкой для многих научных работ в этой области. За полученные результаты А.В. Гапонову решением ВАК была сразу же присвоена ученая степень доктора физико-математических наук, хотя работа позиционировалась как кандидатская диссертация. Задуманная в годы работы семинара, но не опубликованная тогда книга «Динамика неголономных систем» (1967 г.) [372]

двух других его участников, Ю.И. Неймарка и Н.А. Фуфаева, считается и сегодня лучшей в мире по данной тематике. Такой же продуктивной была работа и других семинаров А.А. Андропова и его сотрудников в ГГУ. Достаточно сказать, что следствием работы одного из них было создание в Горьком одного из первых в стране вычислительных центров и электронно-вычислительной машины (так называемой «машины ГИФТИ»).

В развитии отечественной науки особую роль сыграл семинар А.А. Андропова в ИАТ. Фактически, он стал научной школой А.А. Андропова в области теории автоматического регулирования. Семинар проводился еженедельно и регулярно собирал от 50 до 100 участников. В случае отсутствия А.А. Андропова заседанием семинара руководил М.А. Айзерман.

Успешная деятельность семинара обусловлено рядом факторов. Во-первых, А.А. Андронов превосходно знал историю классической теории регулирования и был прекрасно осведомлен о ее современных проблемах и результатах. В связи с этим участники семинара получали информацию о научных достижениях в области теории автоматического регулирования «из первых рук» и, тем самым, «держали руку на пульсе» последних событий в развитии данной теории.

Во-вторых, А.А. Андронов умел фокусировать интерес участников семинара на наиболее магистральных направлениях исследований и на краеугольных результатах. Именно вокруг центральных проблем на семинаре возникали дискуссии, которыми мастерски руководил А.А. Андронов.

В-третьих, рассказывая о научной школе Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси, мы не раз отмечали, что ее деятельность привела к формированию особого нелинейного мышления и нелинейной колебательной культуры. Продолжая эту идеологическую линию, А.А. Андронов на своем семинаре в ИАТ прививал общединамическую культуру. Это касалось, прежде всего, постановки задачи исследования динамики систем, которая стала привычной для научной школы А.А. Андропова в Горьком, но была совершенно новой для большинства участников семинара в ИАТ.

Приведем ряд фрагментов из воспоминаний участников семинара в ИАТ, чтобы позволит лучше охарактеризовать его особую атмосферу и стиль работы. М.А. Айзерман писал: «На заседаниях этого семинара как-то незаметно возникали новые идеи, ставились задачи, предлагались варианты решения, и, хотя публикации имели

конкретных авторов, никто из нас почти никогда не мог припомнить, “кто сказал a , а кто — b ”, и это обстоятельство никогда не становилось предметом споров, обид — всего того, с чем мне приходилось неоднократно сталкиваться в иных коллективах. Именно из недр этого семинара вышли многие ученые, прославившиеся своими работами и до сих пор составляющие гордость нашей науки в области теории управления» [110. С. 211].

Я.З. Цыпкин вспоминал, что «Андроновские лекции и семинары в Институте автоматики и телемеханики, проходившие в 1944–1950 гг., были праздником для всех тех, кто занимался молодой, еще не окрепшей в ту пору, но бурно развивающейся наукой — теорией автоматического регулирования» [Там же]. Среди участников семинара «были инженеры-электрики, инженеры-механики, физики, теплотехники, и это обстоятельство способствовало формированию научных интересов группы, которая концентрировалась вокруг А.А. Андропова, и содействовало пониманию общности задач и необходимости выработать общий язык теории управления. Математическая подготовка людей, которых собрал вокруг себя А.А. Андронов, позволяла им с легкостью говорить на одном и том же языке и понимать друг друга» [Там же].

Интересно обсудить связь двух семинаров А.А. Андропова. В Горьком семинар, посвященный нелинейным задачам теории автоматического регулирования, был организован в 1943 г. Его полное название — «Теория точечных преобразований поверхностей и ее приложение к динамике и к теории автоматического регулирования». Руководителями семинара были А.А. Андронов и А.Г. Майер. Вокруг них сформировалась группа сотрудников, не зависящая от научной школы А.А. Андропова в Москве. Между участниками обоих семинаров (или научных школ) происходил интенсивный обмен информацией. Их идейному слиянию способствовал также частый проезд в Москву с докладами не только А.А. Андропова, но и его учеников.

Стремительный поток работ по нелинейным задачам теории регулирования, возникший в те годы, «стал неразличим по “географическим источникам”... Стало безразличным, идет ли работа из московской или горьковской Андроновских школ» [Там же. С. 213]. Московские сотрудники А.А. Андропова отмечали, что его Горьковские ученики привнесли в их научные исследования методы решения кусочно-линейных задач, метод точечного отображения и, что еще важнее, общую культуру нелинейного мышления. Но в связи с тяжелой болезнью А.А. Андронов все реже приезжал в ИАТ и проводил заседания семинара.

«Андроновский семинар распался еще при жизни А.А. Андропова. Прошло несколько лет, семинар был восстановлен, и в какой-то форме он существует до сих пор, однако уже не удалось восстановить ту удивительную атмосферу, которая царила на этом семинаре и о которой до сих пор с удовольствием вспоминают все, кто был хоть немного причастен к его работе» [Там же. С. 215].

Приведем ряд характерных особенностей стиля руководства А.А. Андроновым своими научными школами.

- Интенсивное научное общение А.А. Андропова и его учеников на семинарах и лекциях в Горьком (ГГУ и ГИФТИ) и Москве (ИАТ), коллективный поиск решения поставленных задач в области теории нелинейных колебаний и теории автоматического регулирования, обсуждение новых идей, методов, полученных результатов.

Постановка задачи в совместных работах всегда принадлежала А.А. Андронову. У него всегда имелось в запасе несколько тетрадок с задачами, сформулированными, только намеченными или решенными наполовину. В дальнейшем эта система тетрадок (или отдельных листов) не изменилась, добавилось лишь то, что каждая из тетрадок имела «адресата»: А.А. Андронов знал (и почти никогда не ошибался), кому из учеников или сотрудников следует поручить решение той или иной задачи.

Учитывая индивидуальные наклонности и научные интересы учеников, А.А. Андронов создавал микро коллективы внутри научной школы так, чтобы два–три сотрудника подходили к исследованию одной и той же проблемы, используя при этом разные подходы. Тем самым, достигались две методические цели. Во-первых, проблема получала всестороннее освещение и полное решение. Во-вторых, ученики постепенно обучались специфике работы по исследовательской программе своего руководителя.

А.А. Андронов всегда находил время для работы со своими учениками и проявлял пристальное внимание к их исследованиям. В качестве примера можно привести выдержку из его письма своему аспиранту Н.В. Бутенину. «Напишите мне коротко о положении дел с Вашей диссертацией... Мне кажется, что некоторое общее представление об этих работах⁴² и в частности некоторое представление с той критикой метода малого параметра, которую они содержат, Вам все же нужно иметь и отразить хотя бы во введении к диссертации. Наряду с этим мне кажется чрезвычайно существенным рассмотреть в Вашей диссертации некоторое число новых,

⁴² Речь идет о работах английских математиков М. Картрайт и Дж. Литтлвуда.

нетривиальных примеров, имеющих практическое значение» [63. Л. 3].

Другой ученик А.А. Андропова Ю.И. Неймарк вспоминал историю, которая стала поворотной в его научном творчестве. «Однажды, приехав из Ленинграда от И.Н. Вознесенского, А.А. Андронов рассказал мне, своему аспиранту, об удивительном критерии устойчивости Найквиста и предложил мне в нем разобраться, поскольку он не имеет обоснования, непонятен и загадочен. Я вскоре нашел оригинальную работу Найквиста, содержащую обоснование в весьма частном случае, и довольно быстро догадался, в чем дело, используя идею, названную позднее D-разбиением. В ее основе лежит отображение корней характеристической функции в пространство ее параметров. Когда недели через две-три я пришел к Александру Александровичу, рассказал ему, как я понимаю критерий Найквиста, и изложил свой общий подход к построению областей устойчивости, он мне сказал: “Ну что ж, диссертацию вы сделали”» [371. С. 17, 18].

- Стремление к созданию в каждом рассматриваемом вопросе стройной логической системы с исчерпывающей классификацией и анализом всех возможных случаев по семействам, видам, подвидам.

В подтверждение этому достаточно сказать, что в книге «Теория колебаний. Часть I» [45] приведены целые страницы рисунков, иллюстрирующие различные качественные типы разбиения на траектории фазовой плоскости грубой системы, различного типа «сожительства» (андроновский термин) особых точек, предельных циклов и некоторых других характерных кривых (сепаратрис), описывающих поведение системы на фазовой плоскости.

По словам Г.С. Горелика, «А.А. Андронов исследует дифференциальные уравнения так, как зоолог исследует зверей (определяет вид и подвид, узнает повадки и структуру внутренних органов) или как врач исследует пациента. И недаром он часто говорит: предельные циклы рождаются, растут, умирают (дохнут)» [Цит. по: 209. С. 102].

- Исключительно высокая научная и техническая эрудиция, прекрасное владение математическим аппаратом теории нелинейных колебаний, использование историко-научных материалов при подготовке к исследованиям.

Н.В. Бутенин вспоминал, что «при каждом случайно возникавшем разговоре на любую тему обнаруживалось, что и это Андронов тоже знает. Наконец мы вовсе перестали удивляться энциклопедичности его знаний, какой бы области они ни касались. Часто в наших спорах мы стали пользоваться “недозволенным приемом”, при

недостатке собственных аргументов говорили: “Так сказал Александр Александрович”. Это действовало мгновенно и безотказно, о чем бы спор ни заходил — о физике или математике, о биологии, медицине или истории» [Цит. по: 288. С. 59].

Г.С. Горелик отмечал такие личностные качества А.А. Андропова, как «экспансивность, богатство идей, склонность к большим научным обобщениям, вкус к длинным спорам обо всем на свете..., необычайная — может быть даже чрезмерная — осторожность внутри своей специальности, скупость в публикации научных результатов...» [110. С. 11, 136]. Заметим, что Л.И. Мандельштам также ответственно подходил к вопросу о публикации результатов проведенных им работ.

Приступая к новым исследованиям, А.А. Андронов всегда проводил мощную мобилизацию информации. В этом ему помогала его редкая библиографическая память. В кратчайшие сроки А.А. Андронов стал крупнейшим специалистом по литературе и истории теории автоматического регулирования. Им было написано ряд историко-научных работ и сделано несколько обзорных докладов на эту тему:

а) «Иван Алексеевич Вышнеградский (1831–1895)» [15], «И.А. Вышнеградский и его роль в создании теории автоматического регулирования» [14];

б) «О работах Д.К. Максвелла, И.А. Вышнеградского и А. Стодолы в области теории регулирования машин» (совместно с И.Н. Вознесенским) [31];

Историко-научные изыскания в области теории автоматического регулирования позволили А.А. Андронову изложить и проанализировать историю создания классической (линейной) теории регулирования. В частности, им было выяснено существенное значение работы И.А. Вышнеградского «О регуляторах прямого действия» для практики регуляторостроения того времени. А.А. Андронов реабилитировал научное имя И.А. Вышнеградского (ряд авторов считали, что он допустил математические ошибки), а также открыл ряд его забытых научных достижений. А.А. Андронов показал, что И.А. Вышнеградский правильно получил результаты, сознательно выбрав идеализацию, в которой не учитывались силы кулоновского трения.

Укажем другие историко-научные работы А.А. Андропова.

а) «Л.И. Мандельштам и теория нелинейных колебаний (1945 г.)» [16].

Доклад, прочитанный на траурном заседании, посвященном Л.И. Мандельштаму, и содержащий краткий очерк его научной деятельности в области теории нелинейных

колебаний.

б) Доклад «Теория точечных преобразований Пуанкаре — Брауера — Биркгофа и теория нелинейных колебаний» (1944 г.) [19].

В докладе представлена краткая история теории нелинейных колебаний, в частности обзор результатов, полученных с помощью метода малого параметра и качественной теории дифференциальных уравнений.

в) «Лаплас. Жизнь и мировоззрение. Место в истории науки» (1932 г.) (совместно с Е.А. Леонтович) [34].

Таким образом, мы вправе говорить о том, что А.А. Андронов был и выдающимся историком науки (впрочем, как и Л.И. Мандельштам).

- Среди своих учеников А.А. Андронов пользовался огромным научным авторитетом и считался моральным эталоном при разрешении сложных вопросов в повседневной жизни.

Известно высказывание Г.С. Горелика «...Я не знал и не знаю ни одного человека, который бы отличался от моего идеала хорошего человека, менее чем А. А. Андронов...» [Цит. по: 469. С. 26]. А.Г. Самойлович в статье «Воспоминания об академике А.А. Андронове» писал: «Андронов обладал прямо-таки какой-то магической силой воздействия на людей. Я убежден, что это было так не только потому, что он обладал огромным научным авторитетом, но также и огромным моральным авторитетом» [61. Л. 2]. На формирование этой черты характера А.А. Андронova значительное влияние оказал Л.И. Мандельштам, который, как мы могли уже убедиться ранее, сам обладал высокими нравственными и моральными принципами.

Представители научной школы. Приведем список некоторых сотрудников и учеников А.А. Андронova и сопроводим его краткими характеристиками полученных ими результатов [364].

- С.В. Беллюстин — профессор, доктор физико-математических наук, один из основоположников теории токов в вакууме и вакуумных электронных лампах.

В 1932 г. он поступил в аспирантуру ГИФТИ, где его руководителем стал А.А. Андронов. Научная тема, над которой работал С.В. Беллюстин, была связана с теорией токов в вакууме. Свою докторскую диссертацию «О токах в вакууме» он защищал в ФИАН в 1946 г. С.В. Беллюстин работал в ГИИВТ на кафедре электротехники и электрооборудования судов: в качестве доцента (с 1934 г.) и профессора (с 1947 г.). С

1965 г. он занимался решением прикладных задач речного транспорта. С.В. Беллюстин подготовил множество инженеров-механиков для речного флота, под его руководством 15 аспирантов и соискателей защитили кандидатские диссертации.

- Н.П. Власов — профессор, доктор технических наук, один из первых преподавателей радиофизического факультета ГГУ, заведующий лабораторией автоматического регулирования в ГГУ, заведующий кафедрой автоматики и телемеханики в Горьковском политехническом институте, специалист в области систем автоматического управления, разработал новое направление в теории колебаний электрических машин, создал теорию следящих систем на переменном токе.

В 1931 г. Н.П. Власов поступил в аспирантуру ГИФТИ и стал одним из первых аспирантов А.А. Андропова. Работа Н.П. Власова «Автоколебания синхронного мотора» стала основой его кандидатской диссертации (защищена в 1938 г.). В 1962 г. Н.П. Власов защитил докторскую диссертацию в ИАТ на тему «Теория следящих систем, работающих на переменном токе». Под руководством Н.П. Власова было защищено несколько кандидатских диссертаций.

- И.Л. Берштейн — профессор, доктор физико-математических наук, основоположник исследований естественных флуктуаций в автоколебательных системах, а также микрофазометрии в радио- и оптическом диапазонах.

В 1931 г. он начал заниматься научной работой под руководством А.А. Андропова. Результаты исследований флуктуаций вблизи периодического движения автоколебательной системы легли в основу кандидатской диссертации И.Л. Берштейна «Флуктуации в автоколебательных системах» (1939 г.). В 1946 г. он был зачислен в ГИФТИ в отдел Г.С. Горелика и одновременно занял должность доцента, а впоследствии профессора кафедры радиотехники радиофизического факультета ГГУ.

Наиболее известным результатом, принесшим И.Л. Берштейну мировую известность, является регистрация эффекта Саньяка в радиодиапазоне (1950 г.). В 1953 г. И.Л. Берштейн защитил в ИРЭ докторскую диссертацию «Исследование весьма малых изменений разности фаз в радио и оптике». Из большого числа практических результатов И.Л. Берштейна и его сотрудников следует отметить создание первого в СССР СВЧ-радиометра, разработку оптических методов измерения малых механических перемещений, изучение работы клистронных генераторов, динамических процессов в газовых лазерах, исследования в области волоконной оптики. Работы И.Л.

Берштейна по теоретическому и экспериментальному исследованию флуктуаций амплитуд и частот лампового генератора были удостоены премии им. Л.И. Мандельштама.

С 1977 по 1986 гг. И.Л. Берштейн руководил лабораторией в ИПФ РАН, где занимался исследованием оптоволоконных интерферометров. С 1987 по 1999 гг. в качестве ведущего научного сотрудника-консультанта он продолжал работы в области волоконной гироскопии и исследований полупроводниковых источников излучения для волоконной оптики.

- Н.Н. Баутин — профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой высшей математики ГИИВТ, автор ключевых исследований в области качественной теории дифференциальных уравнений, теории автоматического регулирования и динамической теории часов.

Сотрудничество с А.А. Андроновым началось на организованном им научном семинаре «Качественные методы в теории дифференциальных уравнений». В 1938 г. Н.Н. Баутин стал аспирантом А.А. Андропова. После окончания аспирантуры в 1941 г. Н.Н. Баутин защитил кандидатскую диссертацию на тему «О поведении динамических систем при малых нарушениях устойчивости Рауса — Гурвица». В ней была предложена важная для приложений теория бифуркации рождения одного предельного цикла из фокуса, когда число уравнений системы равно трем или четырем. К этому же направлению относится знаменитая работа Н.Н. Баутина «О числе предельных циклов, появляющихся при изменении коэффициентов из состояния равновесия типа фокуса или центра» [102]. Ее итоговый результат известен как теорема Баутина.

В 1957 г. Н.Н. Баутин защитил докторскую диссертацию «Нелинейные задачи теории автоматического регулирования, возникающие в связи с динамикой часовых регуляторов скорости» (одним из оппонентов был Л.С. Понтрягин). Итогом исследований по «часовой» тематике стала монография «Динамическая теория часов» [101], вышедшая в 1986 г. Под руководством Н.Н. Баутина было защищено 7 кандидатских диссертаций.

- Н.В. Бутенин — доктор физико-математических наук, профессор, один из самых первых учеников А.А. Андропова.

В 1934 г. поступил на математическое отделение физического факультета ГГУ. На втором курсе перешел к А.А. Андронову на отделение механики. В 1937 г. он

окончил ГГУ, в 1941 г. после защиты кандидатской диссертации — был направлен в Ленинградскую Краснознаменную академию им. А.Ф. Можайского. В 1952 г. он защитил докторскую диссертацию на тему «Действие внешней силы на автоколебательную систему», с 1944 по 1988 гг. — работал начальником кафедры теоретической механики академии им. А.Ф. Можайского. Под руководством Н.В. Бутенина подготовлено 9 докторов и более 20 кандидатов наук.

Основное направление его работ связано с разработкой новых методов в теории нелинейных колебаний и теории гироскопических систем. Результаты исследований Н.В. Бутенина нашли применение в теории и практике конструирования сверхточных гироскопических систем и приборов времени, необходимых для оснащения систем управления ракетами и навигационных систем космических аппаратов.

- Н.А. Железцов — кандидат физико-математических наук, доцент, один из основоположников работ в области построения и исследования математических моделей динамических процессов в сложных нелинейных объектах различной природы.

В 1943 г. он окончил физико-математический факультет ГГУ, в 1944 г. — поступил в аспирантуру к А.А. Андронову. В 1947 г. Н.А. Железцов защитил диссертацию. После окончания аспирантуры он долгое время работал в ГИФТИ старшим научным сотрудником, заведующим лабораторией динамики систем. После смерти А.А. Андропова Н.А. Железцов стал заведующим кафедрой теории колебаний (с 1953 по 1964 гг.). Под его руководством кафедра успешно развивала новые научные направления в области теории колебаний и электронных вычислительных систем. Н.А. Железцову принадлежит ряд важнейших теоретических и прикладных работ в области общей динамики машин. В этих работах он впервые дал строгую теорию разрывных колебаний. Н.А. Железцов взял на себя огромный труд по переизданию и обновлению первого издания книги «Теория колебаний». В последние годы жизни А.А. Андроновым был поставлен вопрос о необходимости развертывания работ в области ЭВМ. Под руководством Н.А. Железцова коллектив, работавший в ГИФТИ и на кафедре теории колебаний, создал вычислительную «машину ГИФТИ».

- С.А. Жевакин — профессор, доктор физико-математических наук, крупный специалист по проблеме пульсаций переменных звезд.

В 1939 г. он окончил физико-математический факультет ГГУ, а в 1941 г. — поступил в аспирантуру к А.А. Андронову. В 1949 г. С.А. Жевакин защитил

кандидатскую диссертацию на тему «Цфеиды и долгопериодические переменные звезды как термомеханические автоколебательные системы», а в 1956 г. — докторскую диссертацию «Теория пульсационной звёздной переменности». В 1957 г. после годичной работы преподавателем Пекинского университета С.А. Жевакин стал сотрудником НИРФИ, где и проработал до конца жизни.

Уже в середине 1950-х гг. к нему пришло международное признание: работы С.А. Жевакина по теории пульсационной звездной переменности были восприняты научной общественностью как прорыв в теории пульсирующих звезд. В 1960 г. по инициативе М.Т. Греховой С.А. Жевакин возглавил в НИРФИ отдел распространения миллиметровых и субмиллиметровых волн. Вся дальнейшая научная и научно-организационная деятельность С.А. Жевакина была связана с решением проблем распространения радиоволн в атмосфере Земли и организацией исследований в данном направлении.

Именно в НИРФИ были продолжены работы С.А. Жевакина по исследованию спектральных характеристик атмосферных газов, начатые совместно с М.Т. Греховой и В.С. Троицким еще в ГИФТИ. С.А. Жевакиным и его учениками были получены классические результаты по форме линий молекулярного поглощения водяного пара и кислорода в атмосфере. Эти исследования стали основой нового направления прикладной радиофизики – дистанционного зондирования параметров атмосферы методами радиотеплолокации (СВЧ-радиометрии). Коллектив ученых, в который входил С.А. Жевакин, получил Государственную премию СССР в 1987 г. за эти работы. Последние его научные работы связаны с описанием поглощения микроволн дождями с использованием фрактальных подходов.

▪ Ю.И. Неймарк — профессор, доктор технических наук, академик РАЕН, советский и российский математик.

В 1944–1947 гг. он учился в аспирантуре ГГУ под руководством А.А.Андропова по специализации «теоретическая физика». В 1947 г. Ю.И. Неймарк защитил диссертацию на тему «Устойчивость линеаризованных систем» и стал кандидатом физико-математических наук. В 1957 г. он защитил в ИАТ докторскую диссертацию на тему «Динамика релейных систем автоматического регулирования», и в 1958 г. ему была присуждена ученая степень доктора технических наук. С 1958 г. он заведовал кафедрой вычислительной математики и динамики машин, которая впоследствии была

переименована в кафедру теории управления и динамики машин.

Ю.И. Неймарку принадлежит ряд крупных достижений как в области математических методов теории колебаний, теории управления и аналитической механики, так и в области прикладных задач. Круг его научных интересов охватывает такие научные направления, как теория устойчивости линеаризованных систем (в частности, предложен метод D-разбиения), теория автоматического регулирования и управления, распознавание образов, поисковая оптимизация, медицинская диагностика, математическое моделирование. Под его научным руководством были выполнены работы по исследованию новых технических объектов, созданию прецизионных измерительных приборов.

Основное место в научной деятельности Ю.И. Неймарка занимают исследования метода точечных отображений и его приложения в теории динамических систем. Фундаментальные результаты, полученные Ю.И. Неймарком в этой области, привели к тому, что точечные отображения стали формой описания динамических систем, удобной как для изучения конкретных систем и численных исследований, так и для рассмотрения теоретических вопросов. Метод точечных отображений в сочетании с качественными методами исследования дифференциальных уравнений, численными методами и использованием ЭВМ позволил исследовать широкий класс конкретных нелинейных систем. С его помощью были получены важные результаты в теории дифференциальных уравнений с запаздывающим аргументом, в методе усреднения, в теории устойчивости движения, в теории оптимизации.

Характерной чертой научного творчества Ю.И. Неймарка является практическая направленность его теоретических разработок. Она наиболее ярко проявилась при решении задач: об устойчивости транспортных устройств, о возникновении вибраций при резании металлов, об устойчивости быстровращающихся центрифуг и др.

Ю.И. Неймарк всегда уделял значительное внимание подготовке научных кадров. С 1953 г. им было подготовлено 55 кандидатов наук, из которых 16 впоследствии защитили докторские диссертации и стали заведующими кафедрами, лабораториями, руководителями КБ и НИИ. Среди них В.А. Брусин, Р.Г. Стронгин, М.И. Фейгин, Ю.П. Заозерский, М.А. Федоткин, Ю.И. Городецкий, Ю.Г. Васин, В.Н. Гольдберг и др.

Отметим также высокую научную и педагогическую роль городского семинара по теории колебаний, которым руководили сотрудники А.А. Андропова Ю.И. Неймарк и

Е.А. Леонтович. «Заседания семинара проходили в творческой обстановке. Обсуждение докладов обычно сопровождалось дискуссиями. Участники семинара каждый раз с нетерпением ждали выступления Юрия Исааковича. Поражала легкость, с которой он расставлял акценты и делал глубокий анализ изложенного материала и, что самое главное, нацеливал коллектив молодых ученых на решение новых задач и часто намечал возможные пути их решения» [444. С. 11].

После смерти А.А. Андропова Ю.И. Неймарк продолжил развивать его исследовательскую программу и, фактически, возглавил Нижегородскую школу теории нелинейных колебаний. Он стал организатором кафедры вычислительной математики и динамики машин на механико-математическом факультете ГГУ (в настоящее время ННГУ), одним из создателей двух новых подразделений в университете: факультета вычислительной математики и кибернетики (первого в СССР) и Научно-исследовательского института прикладной математики и кибернетики.

- А.В. Гапонов-Грехов — академик РАН, профессор, доктор физико-математических наук, первый директор ИПФ РАН (1976–2003 гг.), лауреат двух Государственных премий СССР и Государственной премии РФ.

А.В. Гапонов-Грехов пошел по стопам своих родителей (М.Т. Греховой и В.И. Гапонова): после окончания школы он поступил на специальный факультет Горьковского индустриального института. После окончания двух курсов он перевелся на радиофизический факультет ГГУ, который окончил в 1949 г. В том же году он поступил в аспирантуру к А.А. Андропову. Руководитель предложил ему для кандидатской диссертации трудную тему по общей теории электромеханических систем. Полученный А.В. Гапоновым-Греховым результат стал настолько значительным, что соискателю присвоили сразу и кандидатскую, и докторскую степени.

С конца 1950-х гг. он активно занимался исследованиями в области нелинейных волновых процессов, а также решением проблем генерации и усиления мощных высокочастотных электромагнитных колебаний, длины волн которых лежат в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах. Со своими сотрудниками он открыл и исследовал явление ударных электромагнитных волн. А.В. Гапоновым-Греховым была разработана теория индуцированного излучения классических нелинейных осцилляторов с основанном на этой теории принципом генерации и усиления электромагнитных волн потоками возбужденных неизохронных осцилляторов.

Разработанные на этом принципе устройства — гиротроны и гироклистроны — используются в работах по созданию термоядерных реакторов и систем слежения за космических объектами.

Результаты научной школы. В отзыве о научной деятельности А.А. Андропова С.И. Вавилова писал: «А.А. Андронов, один из наиболее выдающихся учеников акад. Л.И. Мандельштама, является не только крупным физиком и механиком, но и одним из основоположников нового направления физики колебаний — теории нелинейных колебательных систем. Каждое из опубликованных Александром Александровичем фундаментальных исследований в этой области представляет собой ценный вклад в учение о колебаниях. На основе этих работ возникло и развилось современное учение об автоколебательных системах, являющееся основой теории многообразных электрических автоколебательных систем, применяемых в радиофизике и радиотехнике, а также теории регулирования механизмов» [479. С. 332].

Благодаря деятельности научной школы А.А. Андропова в теорию нелинейных колебаний были введены новые понятия: особые точки, предельные циклы, сепаратрисы, устойчивость в малом и большом, бифуркационное значение параметра, адиабатическое изменение параметра в неконсервативных системах и др. При этом был разработан мощный математический аппарат, основанный на качественных методах исследования дифференциальных уравнений, теории устойчивости Ляпунова и методе точечных отображений. В итоге удалось решить многие задачи теории колебаний, радиофизики и теории автоматического регулирования.

Результаты этих исследований вошли в монографию «Новые исследования нелинейных колебаний» [336], а также в книгу «Теория колебаний. Часть I» [45], представляющую собой ценный вклад в общемировую научную литературу. О значимости этой книги Н.В. Бутенин писал: «Вряд ли можно переоценить значение этой книги в становлении нелинейной теории колебаний как в нашей стране, так и во всем мире. Ведь, в сущности, впервые появилась книга, где с ясной теоретической позиции излагались основы теории нелинейных колебаний как сложившейся науки; эта теория иллюстрировалась многочисленными примерами из различных областей физики и техники. Исследователи получили в руки мощное оружие для решения задач, возникающих при рассмотрении нелинейных динамических систем» [292. С. 10, 11].

Не менее важным является также создание А.А. Андроновым методологических

подходов к изучению автоколебательных систем и систем с автоматическим регулированием. А.А. Андроновым и его сотрудниками был решен ряд трехмерных нелинейных задач теории автоматического регулирования. Их решение было доведено до численных расчетов границ областей устойчивости при различных значениях параметров. Эти данные непосредственно интересуют инженеров, занимающихся проектированием устройств автоматического регулирования.

Главное значение работ А.А. Андропова заключается в развитии нелинейной колебательной культуры. Ее основы были унаследованы им от научной школы Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси. Теоретические подходы, развитые А.А. Андроновым и его учениками, широко используются представителями Нижегородской радиофизической школы. Ее тематика охватывает математические аспекты теории нелинейных колебаний, разработку и обоснование математических методов и приемов исследования динамических систем в различных областях науки — от механики и теории управления до биологии и экономики.

Тем самым, одной из характерных особенностей исследований, проводимых в Нижегородской радиофизической школе, является их междисциплинарность. Как писал Ю.И. Неймарк, «...роль теории колебаний в различных ее обликах — нелинейных колебаний, нелинейной физики, нелинейных волн, нелинейной динамики, теории динамических систем, качественной теории дифференциальных уравнений, синергетики — и сейчас огромна. Теория колебаний — наука об общих закономерностях эволюционных процессов различной природы: физической, химической, биологической, экономической, социальной... Изучаемая ею математическая модель — динамическая система — стала основной математической моделью точной науки» [195. С. 184].

Представители Нижегородской радиофизической школы не только завершили начатую А.А. Андроновым разработку математического аппарата теории нелинейных колебаний, но и значительно расширили область приложения ее методов к различным областям науки и техники, получив чрезвычайно важные с практической точки зрения результаты.

Таблица 3, заполненная применительно к научной школе А.А. Андропова, приведена в Приложении 4 (таблица 7п).

§ 4.2.2. Г.С. Горелик и научная школа в области теории нелинейных колебаний и статистической радиофизики

«Г.С. Горелик является одним из наиболее видных представителей колебательной физики школы академика Л.И. Мандельштама и профессора Н.Д. Папалекси...»

[Цит. по: 191. С. 33]

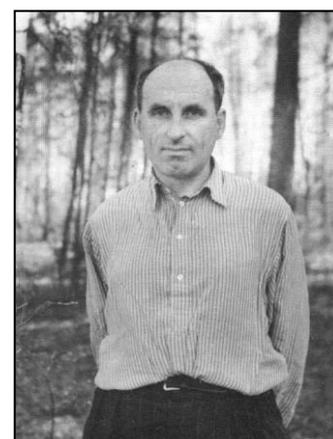
Б.А. Введенский

Источники литературы. К библиографическим материалам, посвященным научной и педагогической деятельности Г.С. Горелика, следует отнести:

- каталог «Личность в науке Г.С. Горелик. Документы жизни» [191], в котором содержатся материалы выставки, посвященной 100-летию со дня рождения доктора физико-математических наук, профессора Г.С. Горелика;
- статью М.Б. Локтевой «Семья, жизнь, судьба» [322], в которой представлены биографические сведения о Г.С. Горелике;
- материал С.М. Рытова [438], в котором описаны результаты научной деятельности Г.С. Горелика;
- статьи С.М. Рытова [439], А.Г. Горелика [168], М.И. Родак [423], В.П. Яковлева [537] и В.Ф. Золина [218], опубликованные в журнале «Успехи современной радиоэлектроники» и посвященные жизни и научному творчеству Г.С. Горелика и др.

Научная биография руководителя научной школы.

Габриэль Семенович (Симонович — до переезда в Россию) Горелик (1906–1956) — доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой общей физики ГГУ и отделом теории колебаний (затем — радиофизики) ГИФТИ, кафедрой общей физики МФТИ, талантливый педагог и выдающийся ученый, известный своими исследованиями в области теории колебаний, радиофизики, оптики и акустики, один из организаторов радиофизического факультета ГГУ.



Г.С. Горелик

Г.С. Горелик родился в 1906 г. в Париже. В это время его отец С.З. Горелик учился на медицинском факультете в университете (Сорбонне). Вскоре семья переехала в Женеву, где С.З. Горелик должен был закончить свое медицинское образование. В

Швейцарии Г.С. Горелик окончил три класса профессиональной школы, выучил французский, английский и немецкий языки.

В 1917 г. С.З. Горелик приехал в Россию, в годы Гражданской войны он был военным врачом и служил в рядах Красной Армии. В 1921 г. в Россию к С.З. Горелику приехала его семья. В России Г.С. Горелик начал самостоятельно готовиться к поступлению в высшее учебное заведение. При этом он материально поддерживал семью, делая литературные переводы с французского языка. Некоторое время Г.С. Горелик работал на Центральной радиотелефонной станции большого радиуса действия и вел передачи на французском языке.

В 1923–1929 гг. он обучался на физико-математическом факультете МГУ. Сначала Г.С. Горелик учился по специальности «электрические измерения» (напомним, что ее организатором был В.К. Аркадьев, см. § 3.5), но затем он увлекся лекциями и семинарами Л.И. Мандельштама по теоретической физике. Еще во время учебы в МГУ Г.С. Горелик был направлен в качестве стажера в лабораторию УКВ ВЭИ, а по окончании университета до 1931 г. работал там научным сотрудником. В ВЭИ он выполнил свое первое научное исследование, посвященное суперрегенеративному приемнику⁴³. Эта тема была ему предложена Б.А. Введенским. Метровые и дециметровые радиоволны находились тогда в фокусе внимания ученых-радиотехников. Эти диапазоны только начали осваивать и применять на практике.

Изучение вопросов генерации и распространения УКВ были весьма актуальными задачами. Их решением занимались сотрудники лаборатории УКВ ВЭИ, в том числе, Г.М. Гинц, Г.С. Горелик. Г.С. Гореликом было опубликовано несколько статей по данной тематике (например, [189]). Кроме того, Г.С. Горелик разработал приближенную теорию физических явлений, происходящих в суперрегенеративных приемниках. Она была приведена в его статье [175].

Вскоре Л.И. Мандельштам обратил внимание на выдающиеся способности Г.С.

⁴³ В обычном регенераторе увеличение обратной связи выше определенного предела приводит к появлению собственных колебаний и искажению приема. В сверхрегенераторе (суперрегенераторе) с помощью вспомогательных колебаний создаются условия, препятствующие нарастанию собственных колебаний. Тем самым, сверхрегенератор отличается большей чувствительностью, чем обычный регенератор, так как позволяет осуществлять прием при более сильной обратной связи.

Горелика. В 1930 г. он поступил в аспирантуру при НИИФ МГУ. Под руководством Л.И. Мандельштама Г.С. Горелик написал диссертацию на тему «О действии внешней силы на линейную систему с периодически меняющимися параметрами». Данное исследование стало логическим продолжением рассмотренной ранее задачи о суперрегенеративном приемнике.

Г.С. Горелик проанализировал случаи, когда нелинейность колебательной системы не играет принципиальной роли. Он разработал общую теорию неавтономных линейных параметрических систем, обобщил понятия резонанса (предложил теорию этого явления для колебательных систем с периодическими параметрами), селективности и расстройки.

В диссертации Г.С. Горелик показал, что системы с периодически меняющимися параметрами обладают более разнообразными свойствами, чем линейные системы с постоянными параметрами. Для них «простыми» колебаниями являются уже не гармонические, а периодические процессы, описываемые функциями Хилла⁴⁴.

Кроме того, Г.С. Горелик установил, что переменные параметры существенно расширяют возможности самой колебательной системы. Например, периодическое изменение параметров уже само по себе означает неавтономность системы и может приводить к ее регенерации и даже возбуждению (параметрический резонанс).

Полученные Г.С. Гореликом результаты были настолько ценными, что на основании защиты его кандидатской диссертации Совет физического факультета МГУ присудил ему степень доктора физико-математических наук. Это решение было утверждено ВАК в 1935 г.

С 1931 по 1938 гг. Г.С. Горелик работал в МГУ сначала в качестве ассистента, а затем доцента и профессора. В этот период он выполнил, помимо диссертационного исследования, ряд научных работ в области теории нелинейных колебаний. Отметим лишь некоторые из них.

- Г.С. Горелик, А.А. Витт «Колебания упругого маятника как пример колебаний

⁴⁴ Уравнение Хилла $\frac{d^2 y}{dt^2} + f(t)y = 0$ важно для понимания устойчивости движения в осцилляторных схемах. В зависимости от конкретной формы периодической функции $f(t)$ решения могут иметь вид устойчивых квазипериодических колебаний, либо колебания будут раскачиваться с экспоненциально нарастающей амплитудой.

двух параметрически связанных линейных систем» (1933 г.) [155].

Авторами были исследованы параметрически связанные колебательные системы. Примечательно, что при этом было впервые введено само понятие параметрической связи, примененное затем Г.С. Гореликом к изучению акустических волн.

Работа А.А. Витта и Г.С. Горелика возникла в результате изучения эффекта расщепления линий в спектре комбинационного рассеяния на молекуле CO_2 . Г.С. Горелик рассказывал, как однажды Л.И. Мандельштам, находясь в лаборатории колебаний, поделился с сотрудниками впечатлениями о только что опубликованной работе Э. Ферми. В ней было представлено квантово-механическое объяснение данного эффекта. Л.И. Мандельштам предположил, что он не относится к квантовым эффектам, и предложил проверить эту гипотезу на модели пружинного маятника.

Приведем фрагмент из воспоминаний Г.С. Горелика: «Со свойственным ему, я бы сказал, моцартовским отсутствием видимого усилия, А.А. Витт моментально рассчитал движение такой системы и показал, что при соотношении частот 2 : 1 должна наступать периодически полная перекачка энергии из вертикальных колебаний в горизонтальные и обратно, что и подтвердилось несколько минут спустя после того, как я пошел в физический кабинет и завладел там штативом, пружиной и равновесом» [105. С. 161].

А.А. Витт и Г.С. Горелик рассмотрели пружинный маятник как систему, состоящую из двух параметрически (нелинейно) связанных линейных систем. Данную систему можно описать с помощью двух нелинейных дифференциальных уравнений. Изучение энергетических превращений системы на фазовой плоскости позволило установить следующий факт. Как бы ни была мала связь между парциальными системами, при соотношении частот 2 : 1 в системе происходит полная перекачка энергии угловых колебаний в энергию вертикальных колебаний и обратно. Быстрота и глубина перекачки энергии из одной парциальной системы в другую зависят от начальных условий.

- Г.С. Горелик «О параметрической связи между стоячими акустическими волнами в газах» (1935 г.) [183].

В этой работе Г.С. Горелик использовал аналогичное рассмотрение к описанию параметрического взаимодействия между стоячими акустическими волнами в газе, заполняющем ограниченный объем. Им было установлено, что благодаря параметрической связи в системе возможно умножение или деление частоты. В том же

году был исследован ламповый автогенератор с двумя определенным образом включенными контурами. При соотношении парциальных частот 2 : 1 между ними происходило параметрическое взаимодействие. Это явление обусловлено нелинейностью характеристики лампы и принципиально отличается от параметрического резонанса в линейных системах.

- Г.С. Горелик «Резонансные явления в линейных системах с периодически меняющимися параметрами. I–III» (1934–1935 гг.) [187].

В данных работах им была разработана классификация линейных систем с периодически изменяющимися параметрами. Г.С. Гореликом рассмотрел резонансные явления, возникающие при действии внешней силы на линейные системы с периодически изменяющимися параметрами.

- Г.С. Горелик совместно с Л.И. Мандельштамом, Н.Д. Папалекси, А.А. Андроновым, А.А. Виттом и С.Э. Хайкиным «Новые исследования нелинейных колебаний» (1936 г.) [336].

Обзор представляет собой дополненный вариант статьи «Обзор исследований в области нелинейных колебаний, проведенных в СССР, начиная с 1935 г.» [393]. В нем отражены итоги работ по изучению нелинейных колебаний, проведенные в НИИФ МГУ, ЦРЛ, ЛЭФИ, ГИФТИ и ФИАН.

- Г.С. Горелик «Колебания нелинейных систем, близких к линейным системам с периодически меняющимися параметрами» (1938 г.) [177].

В работе описан метод, с помощью которого можно свести математическое исследование задачи о нелинейной системе с одной степенью свободы⁴⁵ к рассмотрению двух автономных уравнений первого порядка. Данный метод был применен Г.С. Гореликом к изучению нелинейных явлений в суперрегенеративном приемнике.

Следующий этап биографии Г.С. Горелика связан с его научной и педагогической деятельностью в Горьком⁴⁶. В период с 1935 по 1937 гг. он по приглашению А.А.

⁴⁵ Предполагается, что данная система близка к линейной системе с периодически меняющимися параметрами, имеющей нулевое среднее затухание.

⁴⁶ Решение о переезде было принято Г.С. Гореликом под действием ряда факторов. В докладной записке директору НИИФ и декану физического факультета МГУ А.С. Предводителю Г.С. Горелик писал, что «...за все годы моей работы в МГУ я находился в тяжелых жилищных условиях... Мое жилищное положение стало особенно нетерпимым с июня 1937 г., когда я

Андронов регулярно приезжал туда для проведения научных консультаций в ГИФТИ.

В 1938 г. Г.С. Горелик принял предложение руководства ГГУ занять в нем должность профессора и заведующего кафедрой общей физики на физико-математическом (а с 1947 г. — радиофизическом) факультете. В Горьком Г.С. Горелик провел 15 лет, и все эти годы были наполнены интенсивным творческим трудом, в результате которого им были сделаны важные открытия. При этом он систематически повышал уровень своего педагогического мастерства. К сожалению, отъезд в Горький сделал встречи с Л.И. Мандельштамом более редкими (хотя и более насыщенными). Вместе с тем, Г.С. Горелик подружился с А.А. Андроновым, общение с которым сыграло огромную роль в его работе и жизни.

Некоторое время Г.С. Горелик был деканом физико-математического факультета ГГУ (1946–1947 гг.). Кроме того, он руководил специальностью «радиофизика» и создал новый курс статистической радиофизики. В этот период им была написана книга «Колебания и волны. Введение в акустику, радиофизику и оптику»⁴⁷ [176].

К горьковскому периоду относится более 20 научных работ Г.С. Горелика, связанных с различными вопросами теории колебаний, магнетизма, теории автоматического регулирования, радиофизики и оптики. До Великой Отечественной войны он опубликовал только три работы, в том числе о запаздывающей обратной связи и о фазовой селекции в параметрических системах. Это связано с тем, что много сил и времени он тратил на написание курса общей физики.

В статье «К теории запаздывающей обратной связи» (1939 г.) Г.С. Гореликом были рассмотрены автоколебательные системы, в которых «силы, развиваемые в момент времени t посредством обратной связи, определяются состоянием системы в некоторый предыдущий момент $t - \tau$ » [174. С. 450]. Подобные системы играют важную роль в акустике, радиотехнике и в других областях физики и техники.

В обсуждаемой работе Г.С. Гореликом был предложен метод «авторезонанса» — метод математического исследования некоторого класса систем с запаздывающей

лишился жилплощади вследствие сноса дома, где до этого проживал...Эти условия поставили меня перед угрозой потери работоспособности, здоровья и квалификации» [191. С. 61]. К сожалению, дирекция МГУ не пошла на встречу Г.С. Горелику в решении его жизненных невзгод.

⁴⁷ В дальнейшем для краткости мы будем ее называть просто «Колебания и волны».

обратной связью, одним из признаков которого является близость колебаний к синусоидальным. Этот метод является непосредственным обобщением метода «укороченных уравнений» (метода ММА). С его помощью можно рассмотреть как стационарные колебания, так и процессы установления в системе.

Во время Великой отечественной войны Г.С. Горелик руководил научно-исследовательской группой⁴⁸ в ГИФТИ, которая выполняла работы по заданиям особых конструкторских бюро. В частности, ученые занимались разработкой методов измерения напряженностей слабых магнитных полей для поиска затонувших судов. Вместе с сотрудниками Г.С. Горелик провел также цикл исследований сплавов с высокой магнитной проницаемостью. Это позволило создать магнитометр нового типа — эрстедметр. Работа была выдвинута на соискание Сталинской премии. В ней принимали участие: старший научный сотрудник И.Л. Берштейн, научный сотрудник Г.С. Кутейников, аспиранты Г.С. Горелика И.С. Жукова и К.А. Горонина.

Приведем фрагмент из воспоминаний И.Л. Берштейна. «В начале 1944 г. А.А., Г.С. и я, вместе поехали в Москву для выступления на заседании секции физики АН СССР: А.А. — с докладом о разработанном им методе точечных преобразований, Г.С. — о нелинейных явлениях в ферромагнитных проволоках, я — об эрстедметре с демонстрацией макета прибора. По прибытии в Москву Г.С. решил, что Л.И. — в виду его болезненного состояния — не сможет прибыть на наши доклады, а ему несомненно будет интересно ознакомиться с прибором; поэтому Г.С. предложил прямо с поезда поехать к Л.И. домой, что мы и сделали. Тепло встретив нас обоих (я лишь тогда и познакомился с Л.И.) и узнав, что мы прямо с поезда, Л.И. предложил нам предварительно позавтракать. ...Мы от завтрака отказались, и приступили к рассказу о наших работах. Л.И. с интересом ознакомился с прибором, расспрашивал даже технические подробности (какова зависимость показаний прибора от питающих напряжений?), дал совет, как расширить динамический диапазон прибора» [60. Л. 4, 5].

В очередной раз мы можем убедиться, насколько значительным было влияние Л.И. Мандельштама на научные работы его учеников и сотрудников.

В ГИФТИ группа Г.С. Горелика изучала вопросы, связанные с поведением

⁴⁸ В письме к Л.И. Мандельштаму Г.С. Горелик отмечал, что «...со мной работал прекрасный небольшой коллектив сотрудников и учеников — таких хороших помощников у меня еще никогда не было» [46. Л. 10].

ферромагнитных проволок высокой проницаемости при протекании по ним токов высокой частоты. По результатам работ была опубликована статья Г.С. Горелика, К.А. Горониной и И.С. Жуковой [190]. Данная работа, представленная Л.И. Мандельштамом, была опубликована в журнале ДАН.

В послевоенные годы Г.С. Горелик принял участие в развитии теории нелинейных колебаний. Напомним, что в этот период А.А. Андронов и А.Г. Майер разработали метод точечных преобразований и исследовали с его помощью различные задачи теории автоматического регулирования. В данном направлении Г.С. Гореликом было выполнено три работы.

- Г.С. Горелик и А.А. Андронов «О резонансных явлениях при движении релятивистской частицы в циклотроне» (1945 г.) [32].

В работе разгон заряженной релятивистской частицы в циклотроне рассматривается как нелинейное резонансное явление. Нелинейность задачи обусловлена двумя факторами: 1) переменное электрическое поле отлично от нуля только в узкой щели между дуантами, вследствие чего сила, действующая на частицу, является не только периодической функцией времени, но и нелинейной функцией координат частицы; 2) масса релятивистской частицы является нелинейной функцией ее скорости. Г.С. Гореликом и А.А. Андроновым было показано, что в случае релятивистской частицы кривые резонанса (кривые зависимости энергии периодического движения от напряженности поля) напоминают кривые обычного феррорезонанса, обладая при больших полях характерным скосом и гистерезисом. Следствием наличия такой скошенной резонансной кривой является возможность «затянуть» частицу в область больших энергий посредством постепенного увеличения напряженности магнитного поля.

Тема исследования возникла в связи с успехами в области ускорения заряженных частиц, достигнутыми в ФИАН (в частности, В.И. Векслером). В течение нескольких лет Г.С. Горелик и А.А. Андронов работали по совместительству в нем в качестве старших научных сотрудников лаборатории колебаний.

- Совместно с А.А. Андроновым и Н.Н. Баутиным Г.С. Горелик сделал две работы по автоматическому регулированию (см. § 4.1): об автоколебаниях системы, содержащей авиационный винт с автоматически изменяемым шагом (1945 г.) [22], и по теории непрямого регулирования с учетом сухого трения в чувствительном элементе

(1946 г.) [24].

Г.С. Горелик вместе с А.А. Андроновым приступил к написанию монографии по нелинейным колебаниям и общей динамике машин (работа не была завершена из-за безвременной кончины А.А. Андропова). Кроме того, по данной тематике Г.С. Гореликом было подготовлено ряд статей: «Радиофизика и теория автоматического регулирования» (1947 г.) [186], «Радиофизика и общая динамика машин» (совместно с А.А. Андроновым; опубликована посмертно в 1958 г.) [33].

Впоследствии колебательный подход был эффективно использован Г.С. Гореликом при создании методов определения быстроты обмена энергией между степенями свободы молекул газа и демодуляционного анализа света. Кратко рассмотрим сущность указанных методов.

- Г.С. Горелик «Об одном возможном методе исследования быстроты обмена энергией между степенями свободы молекул газа» (1946 г.) [184]. Статья была представлена С.И. Вавиловым и опубликована в ДАН.

Г.С. Гореликом была предложена идея метода, в котором порции энергии периодически сообщаются извне одной или нескольким из внутренних (колебательных или вращательных) степеней свободы каждой молекулы. Это происходит благодаря тому, что в газ направляется модулированный поток излучения такого спектрального состава. В результате оно поглощается определенными внутренними степенями свободы молекул. Под действием такого модулированного потока излучения в газе возникают акустические колебания.

Изучая зависимость амплитуды или фазы этих акустических колебаний от частоты модуляции потока излучения, можно оценить быстроту передачи энергии от степеней свободы, поглощающих излучение, к поступательным степеням свободы, ответственным за акустические колебания.

- Г.С. Горелик «О демодуляционном анализе света» (1948 г.) [181], совместно с С.И. Боровицким «Гетеродинамирование света» (1956 г.) [188].

В работах была показана возможность явления демодуляции света (например, образование комбинационной радиочастоты при действии оптического дублета на фотоэлемент). В акустике и радиофизике достаточно просто наблюдать на опыте, что при суперпозиции двух гармонических колебаний с близкими частотами, в системе возникают биения. Г.С. Горелик задался вопросом: «Можно ли аналогичным образом

наблюдать биения в свете в тех случаях, когда спектральный аппарат достаточно большой разрешающей силы обнаружил бы наличие дублета? Или, если взять более общий случай, удастся ли обнаружить в свете ту модуляцию интенсивности, которой (вместе с возможной модуляцией фазы) сопряжена, по теореме Фурье, тонкая структура спектральной линии?».

В оптике постановка подобных опытов считалась безнадежной. Однако развитие методов и аппаратуры в радиотехнике микроволнового (СВЧ) диапазона позволяет решить указанные выше вопросы. Оказывается, что в дублетах или мультиплетах частота биений (модуляции интенсивности) составляет порядок тех частот, на которые реагирует микроволновая радиоприемная аппаратура. С помощью нелинейного малоинерционного преобразователя света (фотоэлемента) можно превратить биения в колебания фототока разностной частоты (т. е. частоты, равной разности частот оптических линий или частоте биений). После этого эти колебания могут быть выделены, усилены и исследованы с помощью микроволнового радиоприемного устройства.

На эту идею впервые обратил внимание Г.С. Горелик, а затем, независимо от него, американские ученые А. Форрестер, У. Паркинс и Э. Герджой. Им удалось с помощью фотоэлектрического преобразователя осуществить гетеродинирование двух оптических спектральных линий, разностная частота которых лежит в области СВЧ. Принципиальная схема установки для осуществления демодуляции света показана на рис. 7. Вместе с монохроматором, выделяющим мультиплет, данное устройство представляет собой оптический аналог радиоприемника.

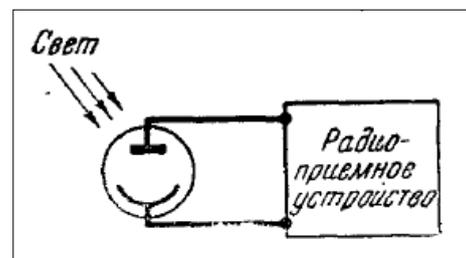


Рис. 7

Наряду с этими работами Г.С. Горелик и коллектив ученых ГИФТИ продолжили исследования по магнетизму. Полученные ими результаты были представлены в докладе [182]. Впоследствии в орбиту научных интересов Г.С. Горелика были вовлечены вопросы, связанные с флуктуациями в различных колебательных системах. Этому в значительной степени способствовали работы по флуктуациям в автоколебательных системах, проведенные И.Л. Берштейном в ГИФТИ под руководством А.А. Андропова.

Проанализировав выполненные И.Л. Берштейном исследования немонохроматичности лампового генератора, Г.С. Горелик выдвинул ряд интересных идей о применениях фазометрического метода И.Л. Берштейна (о нем мы расскажем ниже). Их реализация определила дальнейшую научную деятельность Г.С. Горелика и его сотрудников. Вкратце рассмотрим полученные ими результаты.

В статье Г.С. Горелика [173] описан метод измерения естественной ширины линии лампового генератора⁴⁹. Естественная ширина оптических спектральных линий маскируется уширением, вызванным тепловым движением атомов и молекул вещества (доплеровское уширение). С аналогичной до некоторой степени ситуацией мы встречаемся в радиофизике при исследовании спектра лампового генератора.

Немонохроматичность колебаний лампового генератора обусловлена случайными изменениями фазы (случайные изменения амплитуды очень малы и играют незначительную роль). Случайные изменения фазы происходят вследствие: а) флуктуаций (тепловой эффект, дробовой эффект); б) несовершенства аппаратуры (механические деформации, изменения эмиссии лампы, непостоянство питающих напряжений и т. д.).

В 1938 г. И.Л. Берштейн разработал теорию флуктуационных явлений в автоколебательных системах для случая колебаний, близких к синусоидальным. Он вычислил естественную ширину генерируемой спектральной линии лампового генератора. Она оказалась гораздо меньше (в 10^5 раз), чем техническая ширина. Как показал И.Л. Берштейн, флуктуации фазы представляют интерес с точки зрения практических задач, в частности, метрологических (измерения частоты и времени).

Он разработал фазометрический метод (описан в статье [107]), позволяющий обнаруживать и измерять случайные изменения фазы. Его сущность состоит в следующем. Колебание, снимаемое непосредственно с исследуемого генератора, складывается с колебанием, снимаемым с генератора через линию задержки. Разность фаз между интерферирующими колебаниями равна изменению фазы генератора за время задержки. Оно настолько мало, что разность фаз обусловлена главным образом

⁴⁹ Ширину линий, обусловленную флуктуациями, называют естественной шириной, а ширину линий, вызванную несовершенством аппаратуры, — технической шириной. Именно Г.С. Горелику принадлежит четкое разграничение понятий естественной и технической ширины линии автогенератора, а также введение самих этих терминов.

флуктуациями. Случайные изменения разности фаз складываемых колебаний вызывают случайную амплитудную модуляцию результирующего колебания. Зная параметры аппаратуры, можно сделать перерасчет на флуктуации фазы исследуемого генератора.

Фазометрический метод основан на исследовании спектра величины:

$$\Delta_{\text{иф}} = \varphi_t - \varphi_{t-u},$$

где u — некоторая постоянная, задаваемая условиями опыта и надлежащим образом выбранная; φ_t — значение фазы в момент времени t .

Работа Г.С. Горелика возникла в связи с некоторыми замечаниями, сделанными А.А. Андроновым при обсуждении результатов И.Л. Берштейна. Г.С. Гореликом была исследована связь между характером процессов, обуславливающих техническую и естественную ширину линии лампового генератора, и структурой спектра величины $\Delta_{\text{иф}}$. Знание этой связи необходимо для понимания того, как по спектру $\Delta_{\text{иф}}$ можно определить естественную ширину линии, а также получить сведения о характере случайных процессов, происходящих в генераторе.

Г.С. Гореликом и его сотрудниками были рассмотрены и проанализированы различные приложения фазометрического метода. Перечислим некоторые из них.

- Перенос вихревого опыта Саньяка⁵⁰ в радиодиапазон.
- Использование модуляционного метода в оптической интерферометрии.
- Измерение малых угловых диаметров источников света (в первую очередь, звезд).

Обсудим последнее из указанных приложений. В 1956 г. А.М. Бонч-Бруевич и В.А. Молчанов провели сравнение скоростей света, излучаемого источниками (от диаметрально расположенных точек края видимого диска Солнца), движущимися с различными скоростями. Они сравнили скорости световых волн, распространяющихся от правого и левого краев Солнца. Такое сравнение удалось осуществить, модулируя

⁵⁰ В 1913 г. французский физик Ж. Саньяк показал, что если разделить луч света на два луча и направить их в противоположные направления по замкнутому пути на платформе, вращающейся вокруг своей оси вместе с зеркалами по периметру, то будет наблюдаться смещение интерференционных полос. Исходя из полученного результата, он предположил, что свет распространяется независимо от скорости своего источника. Движение Земли ни оказывает никакого влияния на изменение скорости светового луча, также как и вращение платформы. Перенос опыт Саньяка в радиодиапазон был осуществлен И.Л. Берштейном в 1950 г.

свет радиочастотой и применяя фазометрическую аппаратуру высокой разрешающей силы. В пределах достаточно высокой точности измерений было установлено, что из-за осевого вращения Солнца один из ее краев приближался к нам со скоростью 2,3 км/с, а другой — удалялся от нас с той же скоростью. Значения обеих скоростей света с достаточной высокой точностью совпали. Этот результат стал одним из веских доводов в пользу второго постулата СТО (принципа постоянства скорости света).

Как отметил Г.С. Горелик в отзыве на автореферат А.М. Бонч-Бруевича, в этой работе «происходит слияние техники оптического эксперимента с экспериментальными методами радиофизики» [191. С. 215].

Рассмотрим следующий этап научного творчества Г.С. Горелика. Его наступление связано с рядом трагических событий. Речь, прежде всего, идет о травле Г.С. Горелика, организованной в ГГУ в связи с обсуждением книги «Колебания и волны», а также смерти его близкого друга и единомышленника А.А. Андропова. Г.С. Горелик был лишен возможности нормально работать, и в 1953 г. принял приглашение МФТИ. Он был избран по конкурсу профессором и заведующим кафедрой общей физики этого института. Вскоре Г.С. Горелик переехал из Горького в Москву.

Он взял на себя обязанности декана радиофизического факультета МФТИ, а также стал организатором и руководителем научного семинара по радиотехнике и радиофизике. При этом Г.С. Горелик значительное внимание уделял организации радиотехнического и радиофизического факультетов в МФТИ. Кроме того, с момента образования ИРЭ АН СССР (1955 г.) Г.С. Горелик стал членом Ученого совета, а затем по приглашению А.И. Берга — заведующим организованной им лабораторией статистической радиофизики. За короткое время Г.С. Горелику удалось укомплектовать свою лабораторию талантливыми и инициативными молодыми специалистами (среди них М.И. Родак, Г.А. Ёлкин, А.В. Францессон, Б.А. Гайгеров и др.), в том числе и выпускниками радиофизического факультета ГГУ и МФТИ.

В МФТИ и в ИРЭ АН СССР Г.С. Горелик продолжил научные исследования. Наряду с вопросами, связанными с флуктуациями в автоколебательных системах, он изучал рассеяние волн на хаотически движущихся неоднородностях, автоколебательные системы с запаздывающей обратной связью. Г.С. Горелик и руководимая им лаборатория статистической радиофизики (рис. 27п) сыграли основополагающую роль в развитии статистической радиолокационной метеорологии.

Методы радиолокации позволяют детально исследовать микроструктуру отражающего метеообъекта и происходящие в нем динамические процессы практически одновременно во всем зондируемом объеме пространства. При этом возможно проследить развитие облачной системы от зарождения до распада, определять параметры вихревых потоков, мелкомасштабной турбулентности, измерять интенсивность и количество выпадающих на землю осадков, а также изучать их микроструктуру и др. [169] Сложность и достоверность интерпретации радиолокационных измерений частично связана с использованием моделей метеообъектов, которые неадекватно отражают процессы формирования отраженного сигнала при рассеянии зондирующего радиоизлучения на частицах, присутствующих в зондируемом объеме пространства.

Первые отечественные исследования в этом направлении были выполнены в лаборатории статистической радиофизики под руководством Г.С. Горелика, а затем продолжены в Центральной аэрологической обсерватории и ряде других организаций. Г.С. Горелик разработал модели, которые послужили отправной точкой для развития статистической радиолокационной метеорологии.

Казалось бы, между флуктуациями в генераторе и рассеянием радиоволн на блуждающих неоднородностях нет ничего общего, если не принимать во внимание радиотехническое происхождение обеих задач. Тем не менее, Г.С. Горелик, благодаря своей «колебательной интуиции» обнаружил аналогию между этими явлениями. Ему удалось показать, что можно получить соотношения, связывающие статистические параметры рассеянного поля и его интенсивность, с процессом формирования отраженного сигнала. При этом не нужно накладывать условия независимости движения отдельных рассеивателей (хаотически движущихся дискретных неоднородностей) между собой и выдвигать какие-либо требования к распределению частиц по скоростям.

В предложенных Г.С. Гореликом моделях учитывалась взаимозависимость движений между движущимися рассеивателями, находящимися в зондируемом объеме пространства на различных расстояниях друг от друга. Возможности практического использования предлагаемых подходов были продемонстрированы на двухмасштабной модели [180]. Затем идеи Г.С. Горелика были развиты в работе [424] сотрудников лаборатории статистической радиофизики А.В. Францессона и М.И. Родак. В ней была решена (хотя и в упрощенном виде) задача, показавшая возможности применения

моделей Г.С. Горелика для извлечения информации о турбулизированности среды.

Благодаря развитию идей, предложенных Г.С. Гореликом и его сотрудниками, в дальнейшем удалось получить важные соотношения в области статистической радиолокационной метеорологии. Они имели ясный физический смысл и связывали статистические характеристики флуктуаций с метеорологическими параметрами атмосферы. Это открыло возможность применения полученных результатов для исследования различных метеорологических объектов, в том числе облаков, осадков, а также отражений от «ясного неба»⁵¹.

Заинтересовавшись в связи со сверхдальним распространением УКВ и рассеянием волн вопросами турбулентности, Г.С. Горелик начал изучать ее теорию. В одной из бесед он заявил, что турбулентность с ее границей «самовозбуждения», с характерным гистерезисом ее возникновения и исчезновения при увеличении и уменьшении скорости порождающего потока, с первостепенной ролью нелинейности для ее развитого (стационарного) состояния — это автоколебания. Их специфика состоит в том, что это автоколебания в сплошной среде.

Сотрудники лаборатории статистической радиофизики выполнили также работы, посвященные системам с запаздывающей обратной связью. Ранее при их изучении делались существенные упрощения: допускалась линеаризация задачи или только слабая нелинейность (сюда относится и работа Г.С. Горелика в 1939 г.); при сильной нелинейности не учитывалась дисперсия в линейном звене или же время запаздывания считалось малым по сравнению с периодом.

Г.С. Горелик и его ученики рассмотрели общий случай сильно нелинейной системы, в которой может иметь место дисперсия, а время запаздывания велико по сравнению с временными постоянными линейного звена и играет поэтому существенную роль. Для случая *Z*-характеристики нелинейного элемента было дано с помощью метода одного из соавторов (Ю.И. Неймарка) полное и строгое теоретическое решение задачи, а также проведены некоторые качественные эксперименты.

Трудно сказать, к каким бы еще интересным результатам пришел Г.С. Горелик.

⁵¹ Значительный вклад в развитие статистической радиолокационной метеорологии внес сын Г.С. Горелика А.Г. Горелик — доктор физико-математических наук, заведующий кафедрой оптико-электронных систем Московской государственной академии приборостроения и информатики.

Преждевременная смерть унесла его в расцвете творческих сил. После этого лаборатория статистической радиофизики была расформирована, ее сотрудники были переведены в лабораторию квантовой радиофизики М.Е. Жаботинского.

Становление научной школы. В фокусе внимания научной школы Г.С. Горелика находились колебательные системы различной природы. Для их адекватного описания использовались методы, разработанные научными школами Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси и А.А. Андропова. Но Г.С. Горелик не только поддерживал научные традиции, сформированные данными школами, но и успешно развивал новые научные направления в области теории нелинейных колебаний и радиофизики, предложил новые нетривиальные подходы, высказал перспективные идеи. В этом ему активно помогали его сотрудники и ученики. Обсудим факторы, сыгравшие важнейшую роль в формировании научной школы Г.С. Горелика.

Во-первых, работа в лаборатории УКВ ВЭИ под руководством Б.А. Введенского позволила Г.С. Горелику получить ценный опыт конструирования радиотехнических устройств, постановки и проведения экспериментов в области радиотехники (в том числе, в диапазоне УКВ). В этот период проявилась характерная для всего его научного творчества черта — умение теоретически решать научную проблему и реализовывать на практике полученный результат. Б.А. Введенский вспоминал: «Г.С. никогда не был абстрактным в своих даже наиболее теоретических изысканиях. Он всегда ставит перед собой конкретную приложимую технически идею, в чем я смог убедиться хотя бы за время его работы в лаборатории УКВ ВЭИ» [191. С. 59].

Во-вторых, основополагающую роль в формировании Г.С. Горелика как ученого и будущего руководителя собственной научной школы сыграл Л.И. Мандельштам. В отзыве о научной и педагогической деятельности Г.С. Горелика он писал: «Г.С. Горелик — весьма талантливый молодой ученый, зарекомендовавший себя интересными исследованиями в области колебаний, обладающий большими знаниями, большой инициативой, умеющий выдвигать и решать новые проблемы. Габриэль Семенович не замыкается в своей узкой специальности. Он очень хорошо образован и в других областях физики, как то: оптика, акустика, и обладает, несмотря на сравнительную молодость, большим кругозором» [Там же. С. 57].

В этом отношении Г.С. Горелик, как и его учитель Л.И. Мандельштам, был универсальным ученым, который гармонично сочетал в себе талант физика-теоретика,

ученого-практика и блестящего педагога.

В-третьих, как отметил С.М. Рытов, «...глубокие идеи А.А. Андропова, на которых выросло здание новой науки — общей динамики машин — горячо увлекали Г.С. Горелика, но в этих идеях, как и вообще в теории колебаний, преобладала та сторона физической теории, которая имеет дело с математическим выражением закономерностей физических явлений. Г.С. Горелику всегда была ближе другая сторона физической теории — та, которая связывает теоретические понятия с реальными явлениями...» [438. С. 489].

Г.С. Горелик принимал участие в решении ряд проблем теории автоматического регулирования. Деятельность творческого тандема А.А. Андропова и Г.С. Горелика привела к важным результатам в этом направлении. Но, владея теоретическим аппаратом теории нелинейных колебаний и работая над его усовершенствованием, Г.С. Горелик стремился к распространению колебательного подхода на явления, выходящие за пределы известной в то время сферы применений теории колебаний. Наиболее ярко методология его научных исследований проявилась при написании книги «Колебания и волны» и разработке новых физических методов и моделей.

В-четвертых, значительное влияние на развитие научных исследований Г.С. Горелика и его учеников в области теории колебаний и магнетизма оказал Н.Д. Папалекси. Он всегда проявлял значительный интерес к применению радиофизических методов и распространению колебательных представлений в различных областях науки и техники. Исследования Г.С. Горелика и его учеников имеют непосредственное отношение к этим интересам Н.Д. Папалекси. Так, к рассмотрению ферромагнитных явлений могут быть применены радиофизическая спектральная аппаратура, а также спектральное разложение как динамических, так и стохастических процессов.

Начало исследований в области магнетизма связано со встречей Г.С. Горелика и Н.Д. Папалекси. Г.С. Горелик вспоминал: «Летом 1943 г. я приехал в Казань и, зная всестороннюю эрудицию Н.Д. Папалекси, обратился к нему в связи с этими работами с рядом вопросов. Н.Д. проявил ко мне тогда исключительное внимание. Я получил от него ценные сведения и советы, за которые у меня сохранилось чувство горячей благодарности» [182. С. 174].

В-пятых, интерес Г.С. Горелика к проблеме «рассеяния радиоволн на блуждающих неоднородностях» был вызван следующим обстоятельством. В отделе

распространения УКВ ИРЭ АН СССР (руководитель Б.А. Введенский) с середины 1950-х гг. проводились работы по изучению сверхдального распространения радиоволн сантиметрового, дециметрового и метрового диапазонов. Физическая природа сверхдального тропосферного распространения в то время была не ясна. Существовало несколько гипотез, одна из которых объясняла данное явление рассеянием радиоволн на диэлектрических неоднородностях тропосферы, имеющих турбулентную природу. Описанием параметров приходящего на приемную антенну сигнала как раз занималась лаборатория статистической радиофизики Г.С. Горелика.

Исследовательская программа научной школы. Будучи одним из представителей научной школы Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси и Нижегородской радиофизической школы, Г.С. Горелик испытывал влияние обеих школ. Опираясь на методы, подходы, особенности стиля руководства, присущие данным школам, Г.С. Горелик разработал собственную исследовательскую программу, по которой успешно работал его коллектив.

Г.С. Горелик вместе с учениками выполнил исследования в области магнетизма, теории колебаний, теории автоматического регулирования, радиофизики, оптики и акустики. Тематика их работ была весьма многогранной. Несмотря на это, можно выделить магистральное направление деятельности научной школы Г.С. Горелика.

Ее исследовательскую программу можно сформулировать следующим образом. **Применение колебательного подхода к различным вопросам науки и техники, исследование свойств вещества и излучения радиофизическими методами.**

Наиболее содержательно данная исследовательская программа была охарактеризована Г.С. Гореликом в докладе «Нелинейные колебания, интерференция и флуктуации» (1949 г.) [178], прочитанном на заседании Ученого совета ФИАН и посвященном памяти Л.И. Мандельштама. Исследовательская программа научной школы Г.С. Горелика претерпевала изменения в связи с решением возникающих задач. Эту эволюцию можно проследить по описанию результатов научной деятельности и публикациям Г.С. Горелика и его сотрудников.

Стиль руководства в научной школе. Свою педагогическую деятельность Г.С. Горелик начал с 1930 г. в МГУ параллельно с обучением в аспирантуре. По поручению С.И. Вавилова, который в то время заведовал кафедрой общей физики МГУ, Г.С. Горелик читал курс общей физики одному из потоков физического факультета. Кроме

того, он читал курс теории колебаний, участвовал в проведении семинаров Л.И. Мандельштама и руководил дипломниками и аспирантами.

В этот же период им был подготовлен материал для раздела «Термодинамика и молекулярная физика», который вошел составной частью в учебник «Курс физики» (под ред. Н.Д. Папалекси). Совместно с М.А. Леонтовичем Г.С. Горелик проводил семинар для аспирантов, посвященный вопросам оптики и теории колебаний. С 1932 г. Г.С. Горелик стал руководителем лаборатории колебаний НИИФ МГУ, где под его руководством и по его заданиям выполнялись аспирантские работы.

Как отметил Н.Д. Папалекси, «доктор физических наук Г.С. Горелик является одним из наиболее выдающихся наших молодых ученых, специализировавшихся в области электрических колебаний и активно принимающих участие в развитии и углублении этой основной для радиотехники области... Он вместе с тем обладает несомненными педагогическими способностями, редким умением логично, ясно и просто излагать подчас очень вопросы теории...» [191. С. 58].

Как в студенческие годы, так и будучи преподавателем, а затем и профессором МГУ, Г.С. Горелик не замыкался в кругу чисто научных интересов. Он принимал непосредственное участие в общественной жизни университета и физического факультета, в организационной и методической работе. В частности, Г.С. Горелик был одним из организаторов Всесоюзной конференции по колебаниям, состоявшейся 1931 г.

В дальнейшем Г.С. Горелик продолжил оттачивать свое педагогическое мастерство, работая в ГГУ и ГИФТИ. За время работы в г. Горьком, где он наряду с заведованием кафедрой общей физики⁵² в ГГУ возглавлял отдел радиофизики в ГИФТИ (с 1942 г.), под руководством Г.С. Горелика было защищено девять кандидатских диссертаций. В результате сформировалась большая группа талантливых молодых исследователей (рис. 28п), работавших вместе с ним над разнообразной тематикой.

В ГГУ Г.С. Горелик уделил особое внимание созданию университетского курса физики, который, с одной стороны, соответствовал бы современному уровню развития этой науки, а, с другой стороны, — способствовал бы формированию у студентов физического мышления. С.М. Рытов отмечал, «Г.С. Горелик не отделял “устоявшуюся” физику от того, что студенты “узнают потом”, в специальных курсах, т. е. от наиболее животрепещущих физических проблем современности... Он стремился к тому, чтобы

⁵² В 1946 г. кафедра была переведена на радиофизический факультет ГГУ.

“классика” переплеталась в его лекциях с современностью так, как это имеет место в действительности, без какой-либо искусственной грани, призванной служить только облегчению задачи лектора» [438. С. 487].

Г.С. Горелик поставил задачу «изгнать формализм из преподавания физики, с самого начала вырабатывать у студентов умение физически мыслить, насытить курс яркими, доходчивыми демонстрациями» [191. С. 107]. При этом ему пришлось самостоятельно разрабатывать методику преподавания большинства разделов физики, придумывать для упражнений задачи, иллюстрирующие лекционные курсы.

Г.С. Горелик известен как автор («гореликовского») стиля преподавания в высшей школе. Как вспоминал М.А. Миллер, «...лекции Г.С. Горелика — это особый педагогический жанр. Каждая лекция — маленький спектакль в театре Одного Актера. Он говорил прерывисто, выбрасывая фразы очередями, старался заразить слушателей неожиданными поворотами сюжета... Физика была для него Миром Чудес, сейчас сказали бы — Полем Чудес! Иногда строил свой рассказ по схеме детектива, отправляясь вместе со слушателями в логические (дедуктивные) поиски причин демонстрируемого эффекта. ...На лекции Габриэля Семеновича по общей физике мы ходили несколькими курсами — одни по расписанию, другие вдогонку, третьи просто так. Это был праздник поэзии!» [Там же. С. 275].

В соответствии с актуальными научными достижениями Г.С. Горелик постоянно обновлял содержание своих лекций. В связи с открытием радиофизического факультета Г.С. Гореликом (наряду с А.А. Андроновым) было написано несколько статей, объясняющих предмет радиофизики, необходимость подготовки специалистов радиофизического профиля, структуру и развитие нового факультета. Так, радиофизический факультет он рассматривал как будущий физический факультет ГГУ с последующим созданием механико-математического факультета в ГГУ. При этом учебный план радиофизического факультета должен совпадать (в своей общей части) с учебными планами физических факультетов МГУ и ЛГУ.

В ГГУ Г.С. Горелик читал курс физических основ радиотехники, в котором старался раскрыть представления о различных колебательных процессах. После Великой отечественной войны Г.С. Горелик некоторое время был деканом (с декабря 1946 по март 1947 г.), заведующим кафедрой общей физики (1947–1952 гг.) на радиофизическом факультете ГГУ. Именно в эти годы им был создан учебник

«Колебания и волны» (опубликован в 1950 г.). Расскажем более подробно об этой книге.

Она является совершенно оригинальным по замыслу и исполнению произведением в отечественной учебной физической литературе. Об этом свидетельствуют многие поколения ученых и преподавателей, занимавшихся (и продолжающих заниматься) по этой книге, а также многочисленные положительные отзывы, присланные Г.С. Горелику.

В частности, в отзыве Военно-воздушной академии имени Н.Е. Жуковского, сказано: «Это, пожалуй, единственная книга, где рассматривается очень широкий круг вопросов с единой физической точки зрения. С одной стороны, она доступна для слушателей, с другой — достаточно глубока, интересна и серьезна, чтобы увлечь слушателя... Все выступавшие признали Вашу книгу весьма интересной, очень нужной и ценной. Ею широко пользуются в своей практике преподаватели; они часто находят в ней новые интересные мысли, которые плодотворно преломляются в их практической деятельности» [Там же. С. 135].

Книга «Колебания и волны» составлена на основе лекций, читавшихся в течение ряда лет студентам-физикам второго курса ГГУ. Она рассчитана главным образом на студентов физических, инженерно-физических и радиотехнических факультетов университетов и технических высших учебных заведений. В книге Г.С. Гореликом сделана попытка рассмотреть с единой точки зрения на уровне университетского общего курса физики колебательные и волновые явления, встречающиеся в механике, акустике, оптике, учении об электромагнитных явлениях.

Несмотря на исключительную ценность данной книги, Г.С. Горелик был подвергнут идеологической травле. В 1952 г. в ГГУ проходили заседания ученого Совета радиофизического факультета под лозунгом «Об идеологических ошибках профессора Г.С. Горелика в процессе преподавания физики». Автор обвинялся в том, что в книге «...нет следа от воинствующего материализма.... Проф. Горелик игнорирует задачу борьбы против буржуазных физиков-идеалистов, идеалистически истолковывающих многие физические явления... в большой книге, насчитывающей около 600 страниц, автор не нашел места для понятия материи. Нет ни одной ссылки на произведения классиков марксизма-ленинизма» [Там же. С. 148]. При этом Г.С. Горелик «не каялся, он нападал и обнажал глупость и тупость обвинявших. Это вызывало восторг одних и озлобление других...» [371. С. 58].

Дискуссия вокруг книги «Колебания и волны» стала самой трагической страницей в жизни Г.С. Горелика⁵³. В результате сложившейся ситуации ему пришлось уйти из ГГУ. Вместе с тем были и положительные отзывы о книге. Так, в рецензии Ю.Б. Кобзарева говорится: «Научить владеть единым языком учения о колебаниях и волнах, владеть единым подходом ко всему многообразию колебательных и волновых процессов — основная цель, которую ставит перед собой автор книги. Следует признать, что он достиг ее с большим искусством... Книга, безусловно, является выдающимся пособием в области теории колебаний и волн» [191. С. 140]. С.М. Рытов писал: «Книга ... представляют собой совершенно особое явление в нашей учебной литературе для высшей школы. Книга возникала с одной стороны, как результат собственного педагогического опыта автора, а с другой — как претворение в жизнь идей акад. Л.И. Мандельштама в области учения о колебаниях применительно к общему курсу физики» [Там же. С. 134].

В МФТИ Г.С. Горелик, приступая к чтению той или иной части курса общей физики, фундаментально перерабатывал свои лекции. Так он поступал в Горьком и так же продолжал работать над лекциями в Москве. Здесь его особенно интересовал новый методологический подход к преподаванию раздела «Электричество». Проведенная им работа отражена в конспектах: из года в год (с 1954/55 по 1956/57 учебные годы) он существенно перерабатывал данный раздел.

Заняв должность декана, Г.С. Горелик стал уделять этой работе очень много времени, приглашая для чтения лекций блестящих лекторов, создавая экспериментальную, в первую очередь, лабораторную базу кафедр МФТИ.

Приведем ряд характерных особенностей стиля руководства Г.С. Горелика своей научной школой, дополнив их высказываниями его учеников.

- Г.С. Горелик был увлечен научными исследованиями, он проявлял интерес к

⁵³ Идеологическим нападениям подвергся и другой выдающийся представитель Нижегородской радиофизической школы А.Г. Майер. Ю.И. Неймарк вспоминал, что «непосредственно перед инспектом (который стоил ему жизни — *В.К.*) его прорабатывали на Совете факультета, и он просил, почувствовав себя плохо, отпустить его, тем более, что у него скоро должна быть консультация. Председатель совета не нашел ничего лучше, как проставить вопрос на открытое голосование. Проголосовали против, и спустя час или два А.Г. Майер скончался в аудитории университета» [371. С. 49].

результатам последних достижений науки и техники, генерировал новые идеи, с которыми щедро делился со своими сотрудниками.

А.Г. Любина вспоминала: «Габриэль Семенович всегда был увлечен: он увлекался своими и чужими научными идеями, горячо переживал все политические и общественные события, он увлекался новыми книгами и журналами, людьми и природой. И все интересное, все волнующее Габриэль Семенович хотел передать сотрудникам и друзьям, ученикам, молодежи. Если у него возникали новые идеи, он хотел рассказать о них и сотрудникам в лаборатории и студентам на лекции. Если ему попадалась интересная статья, он хотел, чтобы ее прочитали все. Если он придумывал новый эксперимент, ему хотелось, чтобы его увидели все» [Цит. по: 224].

К каждой встрече со студентами и аспирантами на семинаре Г.С. Горелик составлял план и готовил задачи, которые обычно у него уже имели одно из решений. Он старался, чтобы докладчик, аспирант или его сотрудник считали, что они сами решили поставленную перед ними задачу. При этом часто им удавалось найти новое оригинальное решение.

- Г.С. Горелик, обладая незаурядным литературным талантом, учил своих сотрудников правильно излагать свои мысли на бумаге.

К.А. Горонина отмечала, что «по книгам и статьям можно судить, как хорошо писал Габриэль Семенович. Он всегда помогал сотрудникам писать научные работы и делал это очень искусно. После его редакции автор ясно видел, что его выводы значительнее, чем это ему казалось раньше» [191. С. 281].

- Внимательное отношение Г.С. Горелика к молодым специалистам, поддержка в выборе направления их научного творчества.

И.С. Жукова писала: «Габриэль Семенович всегда был очень внимателен к нам, молодым сотрудникам и аспирантам. О наших неудачах и плохом настроении догадывался без слов, “по носу” как он говорил, и всегда старался помочь, подбодрить» [Там же]. Другой его ученик В.А. Зверев отметил: «Любой студент, заинтересовавшийся каким-либо вопросом, мог рассчитывать на самое активное участие со стороны Г.С.» [Там же. С. 277].

По воспоминаниям коллег Г.С. Горелик приезжал в ИРЭ несколько раз в неделю и обсуждал с каждым сотрудником лаборатории статистической радиофизики полученные им результаты. По словам М.И. Родак, Г.С. Горелик посещал вместе со

своими учениками семинары и конференции в других организациях, привлекал их к обсуждению, знакомил со своими коллегами. «Крайне требовательный, он недолго любил слишком явных, ретивых карьеристов, но, тем не менее, заботился о наших публикациях, стимулировал их, сам посылал заявки на международные конференции» [423. С. 69].

- Г.С. Горелик старался формировать у своих учеников умение мыслить нестандартно и самостоятельно.

По воспоминаниям коллег, «он никогда не испытывал почтения к готовым истинам, никогда не удовлетворялся готовым ходячим мнением, а всегда стремился выработать свое собственное мнение, свое собственное отношение к факту, к проблеме, к теории... Если вы не хотите мыслить стереотипами, то нельзя ограничиваться тем, что говорят или пишут по поводу чего-либо, а надо обращаться к первоисточникам и глубоко изучать вопрос. Он так и делал. Ньютона, Френеля, Араго, Максвелла, Рэлея, Лобачевского и др. читал в подлиннике» [191. С. 270, 271].

Г.С. Горелик проявил себя не только как выдающийся радиофизик, блестящий педагог, он и как профессиональный историк науки. Он написал ряд статей и заметок об Л.И. Мандельштаме, Н.Д. Папалекси, А.А. Андронове и других ученых:

- Г.С. Горелик. «Л.И. Мандельштам как профессор физики», «Л. Мандельштам и преподавание физики», «Памяти Л.И. Мандельштама. 1944 г.», А.А. Андронов и Г.С. Горелик «Л.И. Мандельштам. 1879–1944 (к годовщине со дня смерти)».

- Г.С. Горелик «Несколько замечаний о стиле научного творчества Н.Д. Папалекси» (1948 г.).

- Г.С. Горелик «О научных работах академика А.А. Андропова» (1951 г.), «Памяти А.А. Андропова» (1953 г.).

Будучи членом Всесоюзного общества по распространению политических и научных знаний, Г.С. Горелик читал популярные лекции на заводах в Горьком. Например, им был сделан доклад на тему «Оптика, радиофизика, акустика в трудах академика Л.И. Мандельштама».

Кроме того, из-под пера Г.С. Горелика вышло множество учебно-методических материалов:

- лекции по оптике (совместно с А.Г. Любиной, 1941 г.);
- лекции «Физические основы радиотехники» (1942 г.), по атомной физике и

радиолокации (1946 г.), по акустике;

- программа спецкурса «Статистические методы в теории колебаний и волн»;
- план курса «Статистические явления в радиофизике и акустике»;
- учебное пособие «Инерциальные и неинерциальные системы отсчета» (совместно с А.Г. Любиной, 1962 г.);
- обработка лекций Л.И. Мандельштама по колебаниям (1954 г.);
- научно-популярная брошюра «Радиолокация» (совместно с М.Л. Левиным, 1947 г.) и др.

Г.С. Горелика как высококвалифицированного специалиста приглашали для чтения лекций, оказания консультаций и проведения научно-исследовательской работы по совместительству в различные учебные, научные и промышленные организации (например, приглашение к руководящей работе на кафедре радиофизики инженерно-физического факультета ЛИИ, чтение курса лекций «Избранные главы нелинейной теории автоколебаний» на физическом факультете МГУ).

Представители научной школы. Педагогический талант Г.С. Горелика проявлялся не только в написании и чтении лекций, но и в руководстве студентами и аспирантами, в его умении создавать дружные научные коллективы. Он говорил: «...если бы мне предложили первоклассную лабораторию не университетского типа (без притока молодежи, с помощниками-подчиненными, а не помощниками-учениками), я бы отказался. Работа с молодежью — ни с чем несравнимая вещь...» [191. С. 108].

В МГУ в 1935–1938 гг. у Г.С. Горелика проходили обучение в аспирантуре: Г.М. Малюжинец, К. Семенов, Н.В. Осипов. За время работы в Горьком под его руководством было выполнено и защищено несколько диссертаций. Кандидатами наук стали А.Г. Любина, Г.В. Аронович, К.А. Горонина, И.С. Жукова, В.С. Троицкий, С.И. Боровицкий, В.А. Зверев, А.Н. Малахов. В научную школу Г.С. Горелика также входят Е.Ю. Саленикович, Л.П. Холоденко, В.А. Постников и др.

В МФТИ под руководством Г.С. Горелика работали Н.Н. Колачевский, С.М. Козел, Л.А. Пец и П.А. Перепелятник. Кроме чтения общего курса физики, Г.С. Горелик организовал для старшекурсников и аспирантов МФТИ семинар по статистической радиофизике.

Приведем список некоторых сотрудников Г.С. Горелика и сопроводим его краткими характеристиками полученных ими результатов.

- Г.В. Аронович — профессор, доктор технических наук, автор работ по применению теории нелинейных колебаний к задачам гидротехники.

В 1933 г. он поступил в Индустриальный институт, из которого перевелся на физико-математический факультет ГГУ. Окончив университет, Г.В. Аронович был принят в аспирантуру по специальности «теоретическая физика». Его первым научным руководителем был С.П. Стрелков. Но в связи с его переездом на работу в Москву, научным руководителем Г.В. Ароновича стал Г.С. Горелик. В 1941 г. Г.В. Аронович успешно защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. В 1951 г. Г.В. Аронович защитил докторскую диссертацию на тему «Устойчивость регулируемых гидроэнергетических систем». С 1960 по 1963 гг. он руководил теоретическим отделом в ГИФТИ, в 1963 г. — перешел на работу в ГГУ, а в 1964 г. — стал заведующим кафедрой прикладной математики факультета ВМК. Научные работы Г.В. Ароновича посвящены рассмотрению автоколебаний в аэродинамическом потоке (изучению «флаттера»), «шимми» — автоколебательного процесса, при котором происходит самовозбуждение колебаний передних колес, состоящих из поворотов относительно вертикальной оси и боковых смещений. Он выполнил исследования по изучению влияния гидравлического удара на устойчивость регулирования водяных турбин, по устойчивости режимов в напорных системах ГЭС с уравнительными резервуарами, по устойчивости гидроэлектрических станций и энергетических систем.

- А.Г. Любина — кандидат физико-математических наук, профессор кафедры общей физики на радиофизическом факультете ГГУ.

До 1939 г. она работала ассистентом, а с 1939 г. — в должности доцента кафедры общей физики, сначала на физико-математическом факультете (до 1946 г.), а затем на радиофизическом факультете ГГУ. В 1945 г. под руководством Г.С. Горелика А.Г. Любина защитила кандидатскую диссертацию в ГГУ. В 1953–1957 гг. А.Г. Любина была заведующей кафедрой общей физики. При ее участии было издано 10 учебно-методических пособий. М.А. Миллер вспоминал: «Александра Григорьевна несомненно является педагогической наследницей Г.С. Горелика, сумевшей — при сохранении высокой преемственности достижений учителя — найти свою игру, свою манеру, свой стиль, свое продолжение...» [Цит. по: 324].

- А.Н. Малахов — профессор, доктор физико-математических наук, радиофизик,

заведующий кафедрой радиотехники (1960–1963 гг.), кафедрой бионики и статистической радиофизики (1963–1964 гг.), один из крупнейших в мире специалистов в области статистической радиофизики.

В 1950 г. он окончил радиофизический факультет ГГУ, в период 1950–1953 гг. он был аспирантом Г.С. Горелика. А.Н. Малахов защитил докторскую диссертацию на тему «Избранные вопросы теории флуктуаций в автоколебательных системах». Область его научных интересов — физика шумов и флуктуаций, теория негауссовых случайных процессов, случайные волны, диффузия через потенциальные барьеры. В 1997 г. он стал лауреатом Государственной премии РФ за цикл работ «Динамика интенсивных шумовых волн и нелинейных структур в средах без дисперсии». А.Н. Малахов подготовил около 40 докторов и кандидатов наук.

- В.С. Троицкий — член-корреспондент АН СССР, профессор, доктор физико-математических наук, один из крупнейших в стране специалистов в области радиоастрономии и радиофизики.

В 1945 г. он поступил в аспирантуру ГГУ, где его научным руководителем стал Г.С. Горелик. В 1950 г. В.С. Троицкий защитил кандидатскую диссертацию (это была первая в стране диссертация по радиоастрономии). С этого времени началась его интенсивная научная деятельность, сначала в ГИФТИ и ГГУ (1948–1956 гг.), а затем с 1956 г. и до конца жизни в НИРФИ. В 1956–1991 гг. В.С. Троицкий был заведующим научным отделом НИРФИ, в 1970–1982 гг. — заместителем директора НИФРИ по научной работе, с 1991 г. — главным научным сотрудником.

Диапазон научных интересов В.С. Троицкого был чрезвычайно широк: он проводил исследования флуктуаций в автогенераторах и радиоприемных устройствах, занимался радиоастрономией, общей теорией относительности и квантовой радиофизикой, космологией, проблемой поиска внеземных цивилизаций, применением радиофизических методов в медицине.

- В.А. Зверев — член-корреспондент РАН, выдающийся специалист в области радиофизики, акустики, радиотехники, радиолокации и голографии, главный научный сотрудник ИПФ РАН, лауреат Государственной премии СССР (1985 г.). В 1950 г. он окончил радиофизический факультет ГГУ. С 1950 по 1953 годы обучался в аспирантуре ГГУ под руководством Г.С. Горелика. В 1954 В.А. Зверев защитил кандидатскую диссертацию на тему «Фазовый инвариант модулированного колебания». С 1954 по

1956 г. он заведовал кафедрой общей физики ГГУ, в 1956 г. — возглавил отдел НИРФИ. В 1964 г. В.А. Зверев защитил диссертацию на степень доктора физико-математических наук, а в 1977 г. — перешел на работу в ИПФ РАН.

Укажем некоторые научные результаты, полученные В.А. Зверевым.

- Показано, что модулированное колебание содержит инвариантную относительно начала отсчета времени комбинацию фаз составляющих его колебаний, определяющих вид модуляции (фазовая, амплитудная).

- Предложена и реализована оптическая обработка электрических сигналов, как в записи, так и в реальном времени, позволяющая выполнять многоканальное преобразование Фурье практически мгновенно (данный метод нашел применение в радиолокации).

- Осуществлены: преобразование монофонических и стереофонических сигналов в объемный звук на основе теории бинаурального слуха, обращение волнового поля с заменой обращения волны вычислительной процедурой и др.

- С.М. Козел — доктор физико-математических наук, профессор МФТИ, автор более 100 научных публикаций в области радиофизики и оптики, автор ряда популярных учебников, пособий и сборников задач для высшей и средней школы и более 50 научно-методических публикаций.

Под руководством Г.С. Горелика С.М. Козел разработал теорию модуляционного оптического интерферометра, предназначенного для измерения угловых диаметров звезд, и сделал действующий макет этого устройства. Кроме того, он известен как руководитель Всероссийских физических олимпиад, Национальной Сборной команды школьников России на Международных олимпиадах по физике.

- М.И. Родак — кандидат физико-математических наук, сотрудник лаборатории статистической радиофизики ИРЭ АН СССР.

Для характеристики научной деятельности М.И. Родак приведем фрагмент из ее воспоминаний. «...Весной 1955 г. я отправилась на первую встречу с Габриэлем Семеновичем. Бесед с Г.С., кажется, было две, пришлось также сделать доклад по моей статье на лабораторном семинаре. После чего Г.С. предложил мне поступить в штат его маленькой лаборатории “Статистической радиофизики” (всего три научных сотрудника и аспирант). Эту лабораторию в ИРЭ иногда называли теоретической, но Г.С. против этого возражал, подчеркивая ее общефизический характер...» [423. С. 69].

С 1955 г. М.И. Родак работала в лаборатории Г.С. Горелика. Она решила общую задачу рассеяния радиоволн на совокупности рассеивателей, которые облучаются некогерентным излучением. Причем ограничений на излученный радиолокатором сигнал практически не накладывалось. М.И. Родак были получены соотношения, связывающие корреляционную функцию и спектр интенсивности флуктуаций отраженного сигнала с параметрами сигнала, облучающего частицы.

▪ А.В. Францессон — выдающийся ученый в области квантовой радиофизики и оптики, сотрудник лаборатории статистической радиофизики ИРЭ АН СССР.

В 1957 г., окончив МФТИ, он поступил в лабораторию статистической радиофизики Г.С. Горелика. После его смерти А.В. Францессон начал работать в лаборатории стабилизации частоты радиогенераторов, которую возглавлял М.Е. Жаботинский. Лаборатория М.Е. Жаботинского (преобразованная в отдел квантовой радиофизики и оптики) проводила исследования в области квантовой электроники. Именно в этой лаборатории А.В. Францессон проработал всю свою жизнь.

Под руководством Г.С. Горелика А.В. Францессон сделал свои первые научные работы, посвященные рассеянию радиоволн на блуждающих неоднородностях. Работая в лаборатории М.Е. Жаботинского, он разработал, изготовил и запустил в эксплуатацию оригинальные квантовые парамагнитные усилители микроволнового диапазона. Мазеры конструкции А.В. Францессона были установлены на радиотелескопах, исследующих излучения межзвездного водорода и других космических объектов, а затем и на приемных антеннах, задействованных в радиолокации планет Солнечной системы. А.В. Францессон обеспечивал работу своих квантовых приемников во время сеансов космической связи в Евпатории. В 1976 г. А.В. Францессон в составе авторского коллектива был удостоен за эти работы Государственной премии.

В начале 1970-х гг. внимание А.В. Францессона привлекла идея параэлектрического резонанса — избирательного взаимодействия СВЧ поля определенной частоты с электрическими дипольными моментами некоторых примесных атомов и молекул в твердых телах. Однако наблюдать и исследовать этот эффект в наиболее интересных частотных диапазонах долгое время не удавалось — мешали экспериментальные трудности. А.В. Францессон справился с этой задачей. Он сам вырастил монокристаллы с нужными примесями (а для этого построил специальные плавильные печи и установки для зонной очистки), изобрел и изготовил СВЧ

резонаторы миллиметрового диапазона, куда по микроскопическим проводам подводилось высокое напряжение, изготовил криогенное оборудование для гелиевых температур. В начале 1980-х годов А.В. Францессон начал заниматься стекловолоконными световодами. Он сконструировал и изготовил первые компактные и надежные световодные разъемы, участвовал в создании различных элементов световодной техники, в конструировании световодных линий связи.

В период научной деятельности А.В. Францессона в квантовой электронике практически не существовало никаких промышленно изготовленных приборов и устройств. Именно в таких условиях А.В. Францессон проявил свой талант блестящего экспериментатора: он мог собственными руками изготавливать любую, самую невыполнимую на первый взгляд конструкцию. Приведем несколько примеров [383]. А.В. Францессон сам сконструировал, используя лишь напильники, паяльники и маленький токарный станок, металлические сосуды Дьюара для работы с гелиевыми температурами. Ему принадлежит авторское свидетельство на особые криостаты, обладавшие рекордными для того времени показателями. Кроме того, А.В. Францессон придумал и реализовал способ изготовления тонкостенных прямоугольных волноводов из немагнитной стали, необходимых для мазеров.

Результаты научной школы. Деятельность научной школы Г.С. Горелика была направлена на дальнейшее развитие колебательного подхода и его применение к решению актуальных вопросов теории автоматического регулирования, радиофизики, оптики и акустики.

Первый этап научной работы Г.С. Горелика был посвящен исследованию параметрических систем. Начав еще студентом с изучения схемы, принципа действия и практических применений суперрегенератора, Г.С. Горелик продумал и разработал весь комплекс вопросов, связанных с периодическим изменением параметров. Высказанная им идея параметрической связи оказалась весьма плодотворной и нашла применение при исследовании параметрических машин, ламповых контуров, в акустике.

Г.С. Горелик внес значительный вклад в развитие теории колебаний. Он разработал общую теорию неавтономных линейных параметрических систем, а также рассмотрел резонансные явления в линейных системах с периодически меняющимися параметрами. Кроме того, Г.С. Горелик и его ученики изучали сплавы с высокой магнитной проницаемостью, поведение ферромагнитных проволок высокой

проницаемости при протекании по ним токов высокой частоты. Работы, выполненные группой Г.С. Горелика в ГИФТИ, стимулировали исследования в области магнетизма, изучения магнитных спектров преобразования и статистических явлений при перемагничивании ферромагнетиков.

Г.С. Горелик принимал участие в развитии общей динамики машин. Совместно с А.А. Андроновым и Н.Н. Баутиным им были решены некоторые задачи автоматического регулирования. Г.С. Горелик продолжал работать над практическими приложениями колебательного подхода. В этом направлении следует отметить, разработанные им методы определения быстроты обмена энергией между степенями свободы молекул газа и демодуляционного анализа света. Отметим, что гетеродинирование света (или метод «фотосмещения») широко используется в лазерной оптике.

Важный этап деятельности Г.С. Горелика и его сотрудников связан с изучением флуктуаций в различных колебательных системах. Они рассмотрели различные приложения фазометрического метода И.Л. Берштейна. Впоследствии на основе результатов, полученных научной школой Г.С. Горелика, начали развиваться такие научные направления, как нелинейная акустика, модуляционные методы исследования случайных неоднородностей при распространении волн и др.

Работы в области статистической радиофизики, относящиеся к исследованию флуктуаций амплитуды и фазы электромагнитного излучения, генерируемого ламповыми генераторами и другими источниками, привели к разработке теории рассеяния радиоволн на «блуждающих неоднородностях». После продуктивной деятельности Г.С. Горелика и его сотрудников в Горьком, он продолжил исследования в МФТИ и в ИРЭ АН СССР. В фокусе внимания коллективов, руководимых Г.С. Гореликом, оказались такие вопросы, как флуктуации в автоколебательных системах, рассеяние волн на хаотически движущихся неоднородностях, автоколебательные системы с запаздывающей обратной связью.

Важно отметить, что его научную школу всегда отличала ярко выраженная педагогическая направленность. Г.С. Горелик, будучи талантливым педагогом, значительное внимание уделял развитию радиофизического образования. Он был одним из организаторов радиофизического факультета ГГУ. Квинтэссенцией педагогического творчества Г.С. Горелика стал учебник «Колебания и волны». Он также написал ряд блестящих учебно-методических материалов, которые до сих пор не потеряли своей

актуальности. Многие последователи Г.С. Горелика, восприняв его особый стиль преподавания, стали незаурядными лекторами.

В заключение приведем высказывание С.М. Рытова, наиболее точно, на наш взгляд, характеризующее научную и педагогическую деятельность Г.С. Горелика. «Г.С. Горелик был широко образованным человеком, обладал разносторонними познаниями и интересами. В его научной деятельности и преподавании им всегда двигало горячее увлечение, заражавшее других и создававшее вокруг него настоящую научную атмосферу. Он умел учить, не поучая и воспитывать не морализируя. Он любил молодежь, и она отвечала ему взаимностью. Его стремление к истине и честности не знали компромиссов ни в жизни, ни в науке. Фальшь, непорядочность вызывали у него органическое отвращение. Но, предъявляя высокие требования и к себе, и к другим, он всегда оставался чутким, заботливым и отзывчивым человеком» [438. С. 494].

Таблица 3, заполненная применительно к научной школе Г.С. Горелика, приведена в Приложении 4 (таблица 8п).

§ 4.2.3. С.М. Рытов и его семинар по статистической радиофизике

«Радиофизика — это то, чем занимается С.М. Рытов»

[Цит. по: 95. С. 571]

А.Л. Минц

Ярким представителем научной школы Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси был С.М. Рытов. Им были получены фундаментальные научные результаты в теории нелинейных колебаний, акустике, теории распространения волн, электродинамике, оптике и статистической радиофизике. С.М. Рытов выполнил обширный комплекс работ по изучению колебательных, волновых и флуктуационных явлений. Он — один из признанных корифеев отечественной радиофизической науки.

Личность С.М. Рытова представляет значительный интерес для историко-научного исследования, в том числе потому, что он был организатором и руководителем общеизвестного московского научного семинара по статистической радиофизике. Ранее было показано, что семинар можно считать важным компонентом научной школы. На заседаниях семинара реализуется ряд важных функций научной школы:

- обмен опытом и актуальной научной информацией;
- обучение учеников (подготовка докладов, выступления с ними, обсуждение

результатов, критика) под руководством учителя;

- формирование стиля научно-исследовательской работы;
- привлечение новых «школьников» в научный коллектив и др.

В этом параграфе мы кратко рассмотрим научную биографию С.М. Рытова [449], а также сфокусируем внимание на деятельности его семинара.

Научная биография руководителя научного семинара. Сергей Михайлович Рытов (1908–1996) — выдающийся ученый, член-корреспондент АН СССР (с 1991 г. — член корреспондент РАН). Он родился 3 июля 1908 г. в Харькове. В 1930 г. С.М. Рытов окончил физико-математический факультет МГУ, а в 1933 г. — аспирантуру под руководством Л.И. Мандельштама по специальности «теория колебаний».



С.М. Рытов

В интервью А.А. Печенкину С.М. Рытов вспоминал о работах, выполненных им в период обучения в аспирантуре. «Я решал задачки, которые мне давал Андронов, — сложный генератор, теория захватывания частоты, генератор с двумя контурами, теория затягивания, метод малого параметра Ван дер Поля. Я такие работы делал в то время. Это были ученические работы и аспирантские работы» [Там же. С. 271]. Как отметили В.Г. Полевой и А.Б. Шмелев, «... в своей дальнейшей научной и педагогической деятельности Сергей Михайлович достойно продолжил лучшие традиции школы Л.И. Мандельштама, которого всегда считал своим учителем. Эти прекрасные традиции, среди которых — безграничная преданность науке и чрезвычайная требовательность к себе, Сергей Михайлович постоянно прививал и научной молодежи» [Там же. С. 8].

В 1934 г. С.М. Рытов стал доцентом по кафедре общей физики МГУ. Здесь он вел семинары по оптике и статистической физике, читал специальные курсы (по электронной теории, теории относительности) на старших курсах физического факультета. Затем С.М. Рытов перешел в оптическую лабораторию ФИАН, с 1950 по 1958 гг. он был заведующим теоретическим сектором этой лаборатории. С 1940 г. С.М. Рытов выполнял обязанности заместителя заведующего лабораторией колебаний ФИАН (в то время ее возглавлял М.А. Леонтович).

Условно тематику работ С.М. Рытова можно разделить на три большие группы: 1) теория колебаний и акустика; 2) распространение волн, электродинамика и оптика; 3) статистическая радиофизика. В каждой из этих областей ими были получены

основополагающие результаты.

Ценным вкладом в развитие теории нелинейных колебаний является докторская диссертация С.М. Рытова «Модулированные колебания и волны» (1938 г.; опубликована в «Трудах ФИАН СССР» в 1940 г.) [435]. Она стала настольным руководством для многих ученых-радиофизиков. В этой работе были раскрыты методологические возможности колебательного подхода применительно к различным вопросам физики.

Впоследствии С.М. Рытов продолжил исследования в области теории колебаний и волн. Он получил важные результаты в теории автоколебаний систем томсоновского типа, в теории бетатронных и синхротронных колебаний, в теории параметрических генераторов и усилителей (1948–1963 гг.).

С.М. Рытовым был рассмотрен вопрос о резонансе в параметрических системах, а также исследовано явление «затягивания» при жестком режиме самовозбуждения колебаний. Его работы по параметрическим системам, развитию метода возмущений и его приложению к задаче о стабилизации частоты генератора принадлежат к крупнейшим достижениям теории нелинейных колебаний.

С 1935 г. по предложению Л.И. Мандельштама и М.А. Леонтовича С.М. Рытов начал исследования по дифракции света на ультразвуковых волнах. Их результаты были подытожены в работе «Дифракция света на ультразвуковых волнах» (1937 г.) [434]. В ней С.М. Рытов разработал метод анализа волн в плавно-неоднородных средах, получивший впоследствии название метода Рытова (метода плавных возмущений). Он является важнейшим средством анализа одной из основных задач статистической радиофизики — распространения волн в случайно-неоднородных средах⁵⁴.

В 1944 г. С.М. Рытов был приглашен А.А. Андроновым в ГГУ в качестве заведующего кафедрой теоретической физики радиофизического факультета (рис. 29п). В Горьком он читал курсы теории поля, электронной теории и теории относительности. Кроме того, с 1947 г. и практически до конца жизни С.М. Рытов работал по совместительству в МФТИ (до 1951 г. — физико-технический факультет МГУ), являясь до 1949 г. профессором кафедры общей физики, а затем — профессором кафедры

⁵⁴ Метод Рытова применяется при решении различных задач распространения волн в статистически неоднородных средах (например, распространение радиоволн, света и звука в турбулентной атмосфере). В какой-то степени этот метод предвосхитил метод параболического уравнения М.А. Леонтовича.

радиофизики. С 1953 по 1978 гг. он возглавлял эту кафедру МФТИ.

С.М. Рытовым было впервые получено строгое решение задачи об отражении электромагнитных волн от слоя с отрицательной диэлектрической постоянной и указан корректный электродинамический подход к вопросам распространения волн в трубах и обобщенных линиях передачи с потерями. Им также была внесена исчерпывающая ясность в вопрос о связи между вектором Пойнтинга, вектором групповой скорости и плотностью энергии при распространении электромагнитных волн в анизотропных средах. В этом ряду следует также указать работу С.М. Рытова, в которой им был рассмотрен новый вид фазовых дифракционных структур.

В 1958 г. по просьбе А.Л. Минца С.М. Рытов перешел в теоретический отдел РТИ. Приглашая его в этот институт, А.Л. Минц хотел придать исследовательским работам более фундаментальный характер. Уже первая тема исследования, над которой работала лаборатория С.М. Рытова, оправдала надежды А.Л. Минца. Речь шла о параметрических усилителях, которые должны были радикально улучшить параметры радиолокаторов. С.М. Рытов и его сотрудники разработали теорию малошумящих параметрических усилителей. Она была опубликована в Научных трудах РТИ (1960 г.) в виде статьи [441], написанной С.М. Рытовым совместно с Л.Л. Горышником и Ю.А. Кравцовым. Данная теория стала основой для создания первых образцов параметрических усилителей как в РТИ, так и в ПРФЛ, организованной в МГПИ. Кроме того, в РТИ лаборатория С.М. Рытова занималась исследованием влияния тропосферы и ионосферы Земли на точность наземных радиолокационных комплексов дальнего действия и оценкой их потенциальных возможностей в условиях реальной атмосферы.

С.М. Рытов известен также как автор наиболее общей феноменологической теории спектрального состава молекулярного рассеяния света, включая спектр деполаризованного излучения, спектр Мандельштама — Бриллюэна и спектр рассеяния, обусловленного флуктуациями энтропии (1955–1970 гг.). Впоследствии эта теория была подтверждена многочисленными экспериментами и получила общее признание.

С.М. Рытов плодотворно занимался вопросами распространения радиоволн в ионосфере и теорией флуктуационных явлений при распространении и дифракции волн в случайно-неоднородных средах. Его работы открыли новое направление в теории тепловых флуктуационных шумов и полей, позволяющее единым образом рассмотреть тепловые электромагнитные поля для всего диапазона частот. Тепловым флуктуациям

посвящены две монографии С.М. Рытова [440; 308]. В 1973 г. теория тепловых флуктуаций была обобщена на флуктуационные поля любой природы.

Результаты работ, выполненных С.М. Рытовым, позволили сформировать фундамент статистической радиофизики. На их основе развиваются такие направления как распространение электромагнитных волн в случайно-неоднородных средах (тропосфере и ионосфере Земли), рассеяние на статистически неровных поверхностях (типа взволнованной морской поверхности), излучение и дифракция случайных волновых полей (в том числе теплового происхождения), флуктуации и шумы в радиосистемах, их компонентах, окружающем пространстве и др.

С.М. Рытов известен не только как блестящий физик-теоретик, но и как один из самых популярных лекторов МФТИ. Он обладал широкой научной эрудицией и ярко выраженными педагогическими способностями. Созданные С.М. Рытовым лекционные курсы («Курс общей физики», «Теория колебаний», «Статистическая радиофизика») включали в себя, как результаты его собственных научных работ, так и современные достижения мировой науки. Как отмечал Ю.А. Кравцов, «лекции С.М. Рытова были уникальными как по содержанию, так и по форме. Сергей Михайлович тщательно готовился к лекциям, никогда не допускал ошибок, описок, оговорок и исправлений. Сергей Михайлович не столько читал лекции, сколько священнодействовал у доски, он был предельно серьезен, почти не улыбался, и это ощущение исключительности происходящего разделялось студентами» [449. С. 60].

Ученик С.М. Рытова Ф.В. Бункин вспоминал: «Мандельштамовский характер чтения лекций был также продемонстрирован нам — студентам “радиофизикам”, когда С.М. с исключительным педагогическим мастерством прочитал трехсеместровый курс теории колебаний. Эти лекции открывали нам глаза на единый “колебательный подход” к широкому кругу разделов физики, таких как оптика, спектроскопия, акустика, радиофизика» [Там же. С. 28]. Лекции по статистической радиофизике, которые С.М. Рытов читал в МФТИ, послужили основой для написания единственного в мире учебника по статистической радиофизике [432], который стал настоящим научным бестселлером. Впоследствии был издан двухтомник С.М. Рытова [433; 442].

С.М. Рытов принимал активное участие в написании разделов и глав («Электричество», специальная теория относительности) учебников физики под редакцией Н.Д. Папалекси (1939 и 1947 гг.), части «Колебания и волны» в

«Элементарного учебника физики» (под редакцией Г.С. Ландсберга), в редактировании переводов зарубежных классиков физики (например, Рэля, Дж. Стреттона). Именно С.М. Рытов выполнил колоссальную работу по сбору, обработке, редактированию и публикации научных трудов и лекций Л.И. Мандельштама. Выдающиеся заслуги С.М. Рытова были высоко отмечены обществом. Ему были присуждены Золотая медаль им. А.С. Попова, премия им. Л.И. Мандельштама и Государственная премия СССР (1990 г.).

Радиофизический семинар С.М. Рытова. В стенах МФТИ С.М. Рытов воспитал множество высококвалифицированных специалистов, докторов и кандидатов наук. На протяжении нескольких десятков лет С.М. Рытов был бессменным руководителем основанного им радиофизического семинара (первоначально он проходил в ФИАН, а впоследствии — в ИФА), который оказал огромное влияние на развитие отечественной радиофизики. Популярность и высокий рейтинг этого семинара были обусловлены научным авторитетом самого С.М. Рытова, его умением дать квалифицированную оценку работы и четко сформулировать ее сильные и слабые стороны.

Участник семинара С.М. Рытова А.Е. Каплан вспоминал: «В Москве были большие, легендарные общезнаменитые семинары — Ландау, Гинзбурга; каждый из них был “королевским двором” — с общепризнанным “королем” в первом ряду, кто и задавал тон, “вектор” и дух семинара. Рытовский не был исключением — его семинар во многом был отражением его личности, но, как и с любой личностью, — он был “другой” ... Хотя назывался семинар “Статистическая радиофизика”, тематика была широкая, а если проще, любой участник семинара мог говорить на любую тему при условии, что это будет нетривиально... и — интересно» [449. С. 42].

Приведем слова самого С.М. Рытова об этом семинаре [Там же. С. 15]. «Одним из основных моих достижений является семинар по статистической радиофизике. В конце 1953 г. я начал читать лекции по теории вероятностей для сотрудников ФИАН. С ноября 1953 г. по июнь 1954 г., а затем с марта 1955 г. по апрель 1956 г. я прочитал 44 лекции, а, кроме того, было сделано 8 докладов сотрудниками ФИАН и еще 8 сотрудниками МГУ и некоторых других институтов. Семинар сделался поначалу межинститутским, но число участников все нарастало, он стал общемосковским, а примерно к середине 60-х гг. — междугородным.

В 1958 г. я был переведен из ФИАН в РАИАН, но еженедельные собрания семинара продолжались в конференц-зале ФИАН. Затем нас потеснили — мы стали

собираться в фойе конференц-зала, а с октября 1971 г. предложили выматываться из ФИАН. Официальной причиной было введение в ФИАН пропусков. Я подал заявление директору ИФА, академику А.М. Обухову, и он предоставил нашему семинару конференц-зал ИФА. Первое заседание семинара в ИФА (по сквозной нумерации — 359-е) произошло в ноябре 1971 г. Все последующие заседания происходили в ИФА, так что ФИАН полностью очистился от рытовской скверны... Всего семинар собрался 766 раз и закончился 29 мая 1992 г. докладом математика Я.Г. Синая “Статистика ударных волн в уравнении Бюргера”. Официального закрытия семинара не было: он просто “задохнулся” от состояния науки в стране. Большинство основных участников либо умерло, либо эмигрировало. Всего с 1953 по 1990 гг., если засчитывать содокладчиков в коллективных докладах, выступило более 460 человек. У меня есть толстая тетрадь, в которой систематически, раз за разом, собраны повестки (авторы и названия докладов) всех заседаний. Мне кажется, что этот семинар, работавший более 40 лет, внес в развитие статистической радиофизики в стране некоторый положительный вклад».

В работе семинара С.М. Рытова активное участие принимали ученые из Горького, Харькова, Ленинграда, Томска и других городов. С докладами выступали и уже зрелые ученые, и молодые специалисты. Мнение С.М. Рытова ценилось очень высоко, поэтому к нему часто обращались за советами представители смежных специальностей: радиоастрономы, оптики, геофизики, биофизики и др. Этому способствовала особая атмосфера неподдельного интереса к науке, доброжелательности и мягкого юмора, создаваемого С.М. Рытовым на своих семинарах.

Семинары проводились еженедельно по пятницам, а по четвергам — семинары теоретического отдела РТИ. На них докладывались результаты работ, выполненные сотрудниками отдела. Если работа получала одобрение на семинаре, она отправлялась в редакцию какого-либо научного журнала. Мнение С.М. Рытова на этих семинарах было определяющим. На его семинарах обсуждались также вопросы, возникающие у аспирантов или соискателей, работающих над диссертациями.

Лаборатория теоретической радиофизики С.М. Рытова в РТИ стала центром притяжения молодых ученых, прежде всего, студентов и аспирантов кафедры радиофизики МФТИ. Многие из них стали кандидатами и докторами наук, руководителями различных научно-исследовательских организаций. На семинарах РТИ С.М. Рытов читал доклады для широкой аудитории, посвященные актуальным вопросам

науки и техники. Для молодых участников семинар стал настоящей научной школой. К ученикам, сотрудникам и участникам семинара С.М. Рытова относится целая плеяда талантливых радиофизиков. Укажем имена некоторых из них.

- А.М. Прохоров — академик РАН, один из основоположников квантовой электроники, лауреат Нобелевской премии по физике 1964 г.

- М.Е. Жаботинский — доктор технических наук, профессор, создал первый отечественный стандарт частоты на пучках атомов цезия, квантовые парамагнитные усилители дециметрового диапазона и применил их в радиоастрономии.

- В.Г. Веселаго — доктор физико-математических наук, профессор МФТИ, лауреат Государственной премии СССР. В 1967 г. он описал свойства материалов с отрицательным показателем преломления (метаматериалы).

- Ф.В. Бункин — академик РАН, доктор физико-математических наук, один из ведущих исследователей в области лазерной физики и нелинейной акустооптики, директор Научного центра волновых исследований ИОФ РАН, лауреат Государственных премий СССР и РФ, аспирант С.М. Рытова.

- В.И. Татарский — член-корреспондент АН СССР (с 1991 г. — член-корреспондент РАН), заведующий лабораторией в Институте физики атмосферы РАН, один из ведущих мировых ученых в области теории распространения волн в случайно-неоднородных средах. Он выполнил важнейшие работы по адаптивной оптике, квантовой статистике фотоотсчетов, теории турбулентности, теории вигнеровских распределений в квантовой механике, математической и статистической физике.

- Л.В. Гудзенко — доктор физико-математических наук, создатель нового направления в квантовой электронике — физика плазменных лазеров, первый секретарь семинара С.М. Рытова. Л.И. Гудзенко выполнил работы по кинетике низкотемпературной плазмы и радиотехнике, по астрофизике и методам медицинской диагностики, по теории атомных столкновений и др. Под руководством С.М. Рытова Л.И. Гудзенко исследовал флуктуации в автоколебательных системах общего типа.

- Н.В. Карлов — академик РАН, доктор физико-математических наук, лауреат Государственной премии СССР (1976 г.). Он выполнил работы в таких областях, как статистическая радиофизика, квантовая электроника, парамагнитные мазеры и приемники радиоизлучения на их основе, молекулярные лазеры, интенсивные резонансные взаимодействия излучения с веществом.

- Н.Н. Колачевский, М.Д. Галанин, Ю.А. Кравцов, А.Е. Каплан и др.

Гостями и докладчиками на семинарах С.М. Рытова были такие выдающиеся ученые, как Р.В. Хохлов, В.Б. Брагинский, Б.Я. Зельдович, Г.А. Аскарьян, А.А. Рухадзе, Б.М. Болотовский. Многие участники семинара впоследствии были удостоены Государственной премии, а С.А. Ахманов и Р.В. Хохлов стали лауреатами Ленинской премии. Участникам семинара принадлежат две Гумбольдтовские премии (А.Е. Каплан, Ю.А. Кравцов) и три престижных медали Макса Борна, присуждаемых Американским Оптическим обществом (В.И. Татарский, А.Е. Каплан, Б.Я. Зельдович).

В заключение приведем высказывание участника семинара С.М. Рытова В.В. Сазонова: «Вспоминая то время (шестидесятые — начало восьмидесятых годов), хотелось бы отметить атмосферу научной увлеченности, полной взаимной доброжелательности и вместе с тем, абсолютной нетерпимости к малейшим послаблениям в требованиях, предъявляемых к работнику науки, которая царила не только в лаборатории Рытова, а была характерна для всего института, чего, к сожалению, нельзя сказать о сегодняшнем дне» [449. С. 99].

В завершение главы сделаем ряд выводов и отметим важные моменты.

Во-первых, научная школа Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси представляет собой уникальный феномен не только в истории отечественной радиофизики, но и в общемировой истории науки. В ее недрах зародилось ряд исследовательских программ (прежде всего, А.А. Андропова, И.Е. Тамма, М.А. Леонтовича, Г.С. Горелика, Г.С. Ландсберга), определивших облик магистральных направлений (теории нелинейных колебаний, радиофизики, оптики, физики плазмы и др.) советской физики.

Подобный научный «размах» связан, в первую очередь, с личными качествами Л.И. Мандельштама и Н.Д. Папалекси, интересы которых лежали во многих областях науки и техники. Их научную школу можно с полным правом отнести к супершколам, согласно типологии научных школ В.П. Визгина и А.В. Кессениха [150].

Во-вторых, деятельность научной школы Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси обеспечила теоретический и экспериментальный фундамент радиофизической науки, позволила определить ее предмет, разработать важнейшие методы, терминологию и методологию исследований в этой области, выработать «нелинейную колебательную культуру». Благодаря этому удалось получить основополагающие результаты не только в теории нелинейных колебаний, но и в таких научных направлениях, как теория

автоматического регулирования, оптика, акустика, радиотехника и др.

В-третьих, жизнеспособность любой научной школы определяется, прежде всего, традициями и научными исследованиями ее воспитанников. В этом отношении школа Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси не стала исключением из этого правила. Многие их ученики не только разработали оригинальные исследовательские программы, но и создали собственные научные школы, работы которых, так или иначе, пронизывают идеи Л.И. Мандельштама и Н.Д. Папалекси.

В-четвертых, Л.И. Мандельштам, Н.Д. Папалекси и их ученики (А.А. Андронов, С.П. Стрелков, Г.С. Горелик, С.М. Рытов и др.) известны не только как выдающиеся ученые, но и как прекрасные лекторы, организаторы и руководители семинаров. Они воспитывали у студентов умение физически мыслить, находить нетривиальные решения поставленных задач, применять выбранные модели к изучению физических явлений и процессов, широко использовать колебательный подход и «нелинейную интуицию». Лекции Л.И. Мандельштама, Н.Д. Папалекси и их последователей представляют собой шедевры педагогического мастерства. Недаром в научный обиход вошли такие понятия, как «мандельштамовская ясность», «андроновский стиль преподавания», «гореликовский стиль преподавания».

В-пятых, при изучении научного наследия научной школы Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси следует подчеркнуть еще один, не менее важный, аспект. Их жизнь и научную деятельность всегда отличала высокая морально-нравственная составляющая, позволившая воспитать интеллигентных и ответственных ученых. Высокая требовательность к качеству выполняемых работ переплеталась с атмосферой взаимного уважения, доброжелательности, в которой каждый участник школы мог максимально раскрыть свой творческий потенциал. Тщеславие, желание «играть роль», самоутверждение были чужды научной школе Л.И. Мандельштама и Н.Д. Папалекси.

В-шестых, еще одной гранью творчества обсуждаемой научной школы является значительная просветительская деятельность, проведенная Л.И. Мандельштамом, Н.Д. Папалекси и их учениками. Они были авторами научно-популярных лекций, историко-научных материалов, учебных курсов, ставших настольными для многих поколений физиков и не утративших свою актуальность. В качестве примеров можно привести:

- двухтомный «Курс физики» Н.Д. Папалекси;
- полное собрание трудов Л.И. Мандельштама (в том числе, лекции по теории

колебаний);

- учебники «Механика» и «Физические основы механики» С.Э. Хайкина;
- книги М.А. Леонтовича «Статистическая физика», «Введение в термодинамику»;
- фундаментальный курс «Оптика» и трехтомный курс «Элементарный учебник физики» Г.С. Ландсберга;
- классический курс «Основы теории электричества» И.Е. Тамма;
- учебник «Колебания и волны. Введение в акустику, радиофизику и оптику» Г.С. Горелика и др.

Как отмечал Г.Е. Горелик, «... все книги, которые написали сотрудники и ученики Мандельштама, это в какой-то мере сам Мандельштам» [449. С. 241].

Выводы по главе 4

1. Описана эволюция и результаты деятельности научной школы Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси, оказавшей основополагающее влияние на создание и развитие теории нелинейных колебаний, формирование «нелинейной колебательной культуры» в нашей стране.

2. Рассмотрена история развития научных школ, руководителями которых стали ученики Л.И. Мандельштама и Н.Д. Папалекси (А.А. Андронов, Г.С. Горелик). Их работы позволили расширить область применения теории нелинейных колебаний (например, исследовать задачи теории автоматического регулирования, флуктуации в колебательных системах), разработать ее новые методы и подходы.

3. Сделан вывод о том, что благодаря деятельности научных школ Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси, А.А. Андронova, Г.С. Горелика, радиофизика сформировалась как самостоятельная научная дисциплина. В таблице 6 приведены некоторые характеристики данных научных школ.

4. Показано, что благодаря функционированию радиофизического семинара С.М. Рытова было подготовлено множество талантливых ученых-радиофизиков.

Таблица 6

Отечественные научные школы в области теории нелинейных колебаний и применения ее методов к различным областям науки и техники

Название научной школы	Исследовательская программа	Наиболее активный период деятельности научной школы, годы
Научная школа Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси в области теории нелинейных колебаний и радиофизики	Создание теории нелинейных колебаний и применение ее математического аппарата, методов и идей к решению различных задач радиотехники, формирование «нелинейного стиля мышления»	1924–1947
Научная школа А.А. Андронova в области теории нелинейных колебаний и теории автоматического регулирования	Создание и усовершенствование теории нелинейных колебаний, основанной на качественной теории дифференциальных уравнений и методе точечных отображений, применение ее методов к различным вопросам	1929–1952

	радиофизики и теории автоматического регулирования	
Научная школа Г.С. Горелика в области теории нелинейных колебаний и статистической радиофизики	Применение колебательного подхода к различным вопросам науки и техники, исследование свойств вещества и излучения радиофизическими методами	1938–1956

Глава 5. Научные школы в области отечественной радиолокации и радиоастрономии

В предыдущих главах мы рассмотрели научные школы, определившие формирование радиофизики как науки. В современной радиофизике можно выделить несколько магистральных направлений исследований. В контексте историко-научного исследования мы ограничимся изучением научных школ в таких областях радиофизики как радиолокация и радиоастрономия.

§ 5.1. Ю.Б. Кобзарев и научная школа в области радиолокации

«Ю.Б. Кобзарев является одним из крупнейших радиофизиков, признанных как в нашей стране, так и за рубежом. Его заслуженно считают создателем отечественной радиолокации» [270. С. 7]

А.М. Прохоров

Перед тем как приступить к изучению деятельности Ю.Б. Кобзарева и его учеников, важно рассмотреть результаты исследований Д.А. Рожанского. Он известен как организатор работ по созданию техники радиообнаружения самолетов и как руководитель научной школы. Одним из ее ярких представителей был Ю.Б. Кобзарев.

Источники литературы. К библиографическим материалам, посвященным научной и педагогической деятельности Д.А. Рожанского и Ю.Б. Кобзарева, следует отнести:

- книгу И.Д. Рожанского, М.М. Рожанской и С.Р. Филоновича «Дмитрий Аполлинариевич Рожанский» [430], в которой рассказано о жизни и научной деятельности Д.А. Рожанского;
- книги М.М. Лобанова «Из прошлого радиолокации» [319], «Начало советской радиолокации» [320], «Развитие советской радиолокационной техники» [321], книгу Б.К. Шембея «У истоков радиолокации в СССР» [518];
- книгу «Создание отечественной радиолокации: научные труды, мемуары, воспоминания» [270], в которой приведены статьи Ю.Б. Кобзарева, посвященные вопросам радиотехники, радиолокации и радиофизики, истории развития отечественной импульсной радиолокации;
- статьи Ю.Б. Кобзарева «Первые шаги советской радиолокации» [269], Ю.Б. Кобзарева, Н.Л. Поляковой «Д.А. Рожанский и становление радиофизики» [272], Г.С.

Ланцберга «Академик Юрий Борисович Кобзарев (к 90-летию со дня рождения)» [303], В.Г. Бартенева, Г.Ю. Кобзарева «Дмитрий Аполлинариевич Рожанский — выдающийся ученый-радиофизик» [99], Ю.Б. Кобзарева, Л.А. Сены и В.М. Тучкевича «Дмитрий Аполлинариевич Рожанский» [273] и др.

Направление радиофизики. До 1930-х гг. в системе ПВО для определения местоположения самолетов использовались звуковые пеленгаторы и оптические дальнометры. Однако у такой системы (ее называли «прожзвук») были серьезные недостатки. Во-первых, она могла эксплуатироваться только при благоприятных атмосферных условиях. Во-вторых, малая скорость распространения звуковых волн в воздухе ограничивала оборонные возможности ПВО. Эти особенности не позволяли с помощью звукоулавливателей точно определить направление на самолет и обнаружить его на значительном расстоянии.

Таким образом, необходимо было создать принципиально иные средства для обнаружения самолетов и точного определения их местоположения. Одним из создателей первых в мире РЛС был научный сотрудник ЛЭФИ П.К. Ощепков¹. В статье [380] им были сформулированы основополагающие принципы радиолокации, определены рабочие длины радиоволн (ультракороткие, дециметровые и сантиметровые). П.К. Ощепков пришел к выводу о том, что необходимо их фокусировать в пучок при направлении на цель.

В ЛЭФИ под его руководством была сформирована группа исследователей. В 1934–1935 гг. одним из ее инженеров Б.К. Шембелем был изготовлен экспериментальный макет зенитной установки, работавшей на длине волны 25 см. Первые испытания макета показали, что установка обладает чувствительностью, достаточной для обнаружения летящих ласточек на расстоянии 100–150 м и легкого самолета на расстоянии 5–6 км.

В 1934 г. на Ленинградском радиозаводе были выпущены опытные образцы РЛС «Вега» (устройство дальнего обнаружения с непрерывным излучением) и «Конус» (система ближнего обнаружения с определением дальности) для системы радиообнаружения самолетов «Электровизор». Кроме того, при участии П.К. Ощепкова разрабатывалась импульсная станция «Модель-2» [338].

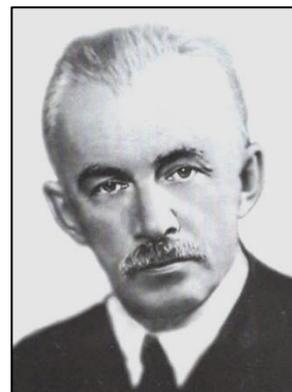
¹ Павел Кондратьевич Ощепков (1908–1992) — выдающийся ученый, инженер и изобретатель, профессор, доктор технических наук, инициатор и один из создателей первых в мире РЛС.

В 1934 г. инженеры ЦРЛ Ю.К. Коровин, С.Н. Савин и В.А. Тропилло впервые в СССР экспериментально доказали практическую возможность радиообнаружения самолета с помощью отраженной от него электромагнитной энергии (дальность обнаружения составила 600–700 м).

В 1935 г. ЛЭФИ был объединен с Радиоэкспериментальным институтом и преобразован в закрытую организацию НИИ-9 (ее научным руководителем был М.А. Бонч-Бруевич). Одним из главных направлений этого института стало создание мощных генераторов электромагнитных колебаний СВЧ-диапазона. М.А. Бонч-Бруевич, хорошо знавший работу радистов времен Первой мировой войны, считал, что наиболее перспективной является акустическая индикация принимаемых сигналов. Именно поэтому в НИИ-9 было отдано предпочтение разработке техники непрерывного излучения. Но образца РЛС с использованием непрерывного излучения, который мог бы быть принят на вооружение, создать не удалось.

В 1935 г. А.Ф. Иоффе по настоянию УПВО организовал в ЛФТИ специальную лабораторию (ЛФТЛ) для проведения работ по радиообнаружению самолетов. Их возглавил Д.А. Рожанский.

Выдающийся радиофизик, член-корреспондент АН СССР Дмитрий Аполлинариевич Рожанский (1882–1936) и его сотрудники сыграли ключевую роль в становлении импульсной радиолокации в нашей стране. Кроме того, он выполнил важнейшие исследования по распространению коротких радиоволн и УКВ с учетом свойств ионосферы, по стабилизации частоты ламповых генераторов, физике газового разряда, СВЧ-электронике, теории антенн.



Д.А. Рожанский

Как отметил Н.Д. Папалекси, «отличительной особенностью всех этих работ является гармоническое и чрезвычайно плодотворное сочетание глубокого систематического, проведенного по продуманному плану, физического исследования ряда вопросов с одной стороны и претворения полученных результатов в практические достижения, с другой» [479. С. 211].

Д.А. Рожанский учился на физическом отделении физико-математического факультета Санкт-Петербургского (Императорского) университета. После его окончания в 1904 г. он был оставлен на факультете для подготовки к профессорскому

званию. Д.А. Рожанский также был лаборантом на кафедре физики Петербургского электротехнического института, которую в то время возглавлял А.С. Попов.

Начало научной деятельности Д.А. Рожанского совпало с развитием искровой радиотехники, поэтому его первые работы были связаны с экспериментальными и теоретическими исследованиями искрового разряда. Д.А. Рожанский показал, что электрическая искра при разряде конденсатора представляет собой вольтову дугу переменного тока между металлическими электродами. В 1908 г. он описал метод для изучения изменения ЭДС искры и силы тока в цепи как функции времени (сходный по идее с тем, который предложил примерно в это же время Л.И. Мандельштам). Это позволило Д.А. Рожанскому, используя трубку Брауна, исследовать колебания с периодом до $3 \cdot 10^{-7}$ с.

Результаты проведенных работ вошли как основной материал в его магистерскую диссертацию «Влияние искры на колебательный разряд конденсатора», которую он защитил в 1911 г. В ней Д.А. Рожанский исследовал процессы, происходящие в искре при высокочастотном колебательном разряде и определяющие эффективность искровых передатчиков. При строительстве в 1913 г. искровых радиостанций на Ходынке и в Царском Селе были использованы научно-технические идеи Д.А. Рожанского.

После защиты диссертации и получения диплома магистра физики он переехал в Харьков, где в то время была соответствующая его степени преподавательская вакансия. В 1911 г. он был утвержден в должности приват-доцента Харьковского университета по кафедре физики, а затем — профессора и заведующего кафедрой физики. Кроме физики он читал курс метеорологии и физической географии, а также заведовал магнитно-метеорологическим кабинетом кафедры и метеорологической станцией.

В период работы в Харьковском университете Д.А. Рожанским был опубликован ряд важных работ (например, [426; 428]). В то же время им были написаны книги: «Учение об электромагнитных колебаниях и волнах» (1913 г.), «Электрические лучи» (1913 г.), а также отдельные главы в «Курсе физики» О.Д. Хвольсона (1914 г.). В книге «Электрические лучи» [429] на высоком научном уровне Д.А. Рожанским были изложены физические основы радиотехники. Глубина и строгость теоретического анализа сочетались в ней с обстоятельным изложением результатов экспериментальных работ. Эта особенность была характерна для всех исследований Д.А. Рожанского.

Харьковский период занимает особое место в его научном творчестве. Д.А.

Рожанский организовал физический семинар, которым руководил до своего отъезда из Харькова в 1921 г. На нем он выступал с обзорными докладами и сообщениями о собственных научных результатах, активно привлекал студентов и сотрудников кафедры к научно-исследовательской деятельности. Фактически, семинар стал центром притяжения харьковских ученых-физиков. По инициативе Д.А. Рожанского при физико-математическом факультете была организована научно-исследовательская кафедра (официально она была оформлена только в 1926 г.). После 1921 г., работая в Горьком и Ленинграде, он оставался ее руководителем, периодически приезжая в Харьков.

По предложению Д.А. Рожанского на кафедре были начаты исследования по освоению и применению методов генерации дециметровых и сантиметровых волн. Они проводились А.А. Слуцкиным и Д.С. Штейнбергом (впоследствии их продолжил С.Я. Брауде, см. Приложение 7) и привели к созданию магнетронного генератора (на длине волны $\lambda = 7$ см). При дальнейшем усовершенствовании он стал одним из ключевых элементов современной радиолокационной аппаратуры.

В течение 1921–1923 гг. Д.А. Рожанский работал НРЛ, где выполнил работы по ряду важнейших проблем радиотехники. Им был предложен принцип расчета сопротивления излучения путем учета обратного действия поля, создаваемого излучающей системой, на саму систему. Этот метод, названный «методом наведенных ЭДС», был затем развит в работах И.Г. Кляцкина, В.В. Татарина и А.А. Пистолькорса и получил применение при расчетах сложных антенн.

В 1923 г. Д.А. Рожанский переехал в Ленинград и продолжил научную деятельность в ЦРЛ. В этой лаборатории под его руководством разрабатывались методы генерации коротких радиоволн и УКВ, способы стабилизации частот коротковолновых генераторов. Ближайшими его сотрудниками были А.Н. Щукин, М.С. Нейман и А.А. Ванеев. В ЦРЛ при участии Д.А. Рожанского были построены первые в СССР коротковолновые передатчики и передатчики со стабилизацией частоты по методу автоподстройки к задающему стабильному генератору малой мощности, а также разработана их теория.

Одновременно А.Ф. Иоффе пригласил Д.А. Рожанского в организованную им ЛФТЛ при ВСНХ, где Д.А. Рожанский возглавил отдел коротких волн. В 1925 г. им были изготовлены две коротковолновые телеграфно-телефонные радиостанции мощностью 250–300 Вт, работавшие в диапазоне длин волн 50–75 м. В 1928–1930 гг.

учениками Д.А. Рожанского были разработаны конструкции коротковолновых генераторов с кварцевой стабилизацией, которые нашли практическое применение на отечественных радиостанциях. В 1930 г. Д.А. Рожанский опубликовал теоретическое исследование работы лампового генератора, стабилизированного кварцем.

Он был одним из первых ученых, оценивших актуальность изучения СВЧ-колебаний. В 1927–1929 гг., продолжая руководить работами по исследованию магнетронных схем генерации электромагнитных колебаний волн, он применил к их изучению метод «тормозящего поля» (метод Баркгаузена — Курца). В работе [427] Д.А. Рожанский описал опыты по получению колебаний с длиной волны 10 см (и короче). В дальнейшем эти исследования продолжила его ученица М.Т. Грехова.

В 1925 г. Д.А. Рожанский приехал в Харьков для изучения проблемы распространения коротких радиоволн. В то время на физико-математическом факультете Харьковского университета работал радиотехнический кружок. Его организатором и руководителем был тогда еще студент, а затем сотрудник Д.А. Рожанского — Ю.Б. Кобзарев. Здесь и был установлен коротковолновой приемник Д.А. Рожанского, с помощью которого осуществлялся прием опытных передач. По сути, это были первые в СССР опыты по установлению дальней радиосвязи на коротких волнах.

В 1932–1933 гг. одновременно с продолжением радиофизических работ Д.А. Рожанский создал лабораторию (и научный семинар) по физике газового разряда. В ней проводились исследования в области низкотемпературной плазмы, изучались процессы в ионных приборах (газотронах, тиратронах и ртутных выпрямителях).

Магистральным направлением научных исследований Д.А. Рожанского также является разработка радиолокационных устройств. Под его руководством сотрудники группы № 5 отдела коротких волн ЛФТЛ выполнили эксперименты по изучению рассеяния самолетами радиоволн метрового диапазона и разработали импульсный метод радиолокации применительно к задаче обнаружения самолетов на больших расстояниях.

Как вспоминал Ю.Б. Кобзарев: «С самого начала лаборатория взяла курс на применение импульсной техники. Когда я получил приглашение работать в лаборатории и пришел к Абраму Федоровичу, то он так прямо и сказал, что главной задачей считает создание импульсной техники» [269. С. 75]. Д.А. Рожанский лично принимал участие в первых экспериментах по импульсной радиолокации. Однако увидеть завершение этой работы он не смог, так как скоропостижно скончался 27 сентября 1936 г.

Д.А. Рожанский уделял значительное внимание подготовке научных кадров. Под его руководством работали А.А. Слущкин, А.Н. Щукин, Ю.Б. Кобзарев, М.С. Нейман, М.Т. Грехова, В.И. Бунимович, Н.Я. Чернецов, П.Н. Погорелко, Г.В. Брауде, Л.А. Сена и др. После краткого обсуждения научной биографии Д.А. Рожанского перейдем к описанию научной школы его ученика Ю.Б. Кобзарева.

Научная биография руководителя научной школы. Юрий Борисович Кобзарев (1905–1992) — доктор технических наук, академик АН СССР, один из основоположников отечественной импульсной радиолокации, руководитель ряда важнейших научных работ, оказавших значительное влияние на развитие теории нелинейных колебаний и радиофизики.



Ю.Б. Кобзарев

Он родился в Воронеже 8 декабря в 1905 г. После революции его семья переехала в Кисловодск, где Ю.Б. Кобзарев учился в школе. В 1924 г. он начал работать в качестве ассистента на кафедре физики Харьковского государственного фармацевтического института. Вскоре Ю.Б. Кобзарев стал ассистентом на кафедре физики Химико-фармацевтического техникума. В 1925 г. в Харьков приехал профессор Д.А. Рожанский и привез с собой коротковолновый приемник (разработанный А.Н. Щукиным в ЦРЛ) для исследования распространения коротких радиоволн. Помощником Д.А. Рожанского стал Ю.Б. Кобзарев.

Далее приведем фрагмент из его воспоминаний. «Начались наши ночные бдения над коротковолновым приемником. Это знакомство стало для меня решающим этапом. Накануне отъезда Д.А. предложил мне переехать в Ленинград, работать в его лаборатории. Но мне предстояло еще целый год учиться. Как быть? “Ничего, сдавайте досрочно” — был совет Д.А. И я принялся за дело» [270. С. 15]. После успешной сдачи всех экзаменов и окончания в 1926 г. Харьковского университета (тогда ХИНО) Ю.Б. Кобзарев был принят в отдел коротких радиоволн ЛФТЛ. Кроме того, он работал консультантом в отделе измерительных устройств Центральной лаборатории Главэлектропрома, преподавал в Ленинградской военной электротехнической академии им С.М. Буденного. Но основным местом его работ была ЛФТЛ.

Первые научные работы Ю.Б. Кобзарева были связаны с фундаментальной проблемой стабилизации частот ламповых генераторов. Изменение частоты

передатчиков существенно осложняло прием передач, создавало взаимные помехи от соседних радиостанций. Одним из вариантов решения этой проблемы стало применение электромеханических колебательных систем — пьезоэлектрических кварцевых резонаторов. Сначала Ю.Б. Кобзаревым была разработана теория стабилизации частоты с помощью управляемой индуктивности (подмагничиваемого высокочастотного дросселя), затем он сфокусировал внимание на исследовании кварцевой стабилизации частоты. В 1926 г. Д.А. Рожанский уехал в командировку в Германию и привез оттуда кварцевые пластины. Часть из них он передал Ю.Б. Кобзареву для проведения исследований. Вскоре им были получены первые результаты по использованию кварцевых резонаторов для стабилизации частоты автогенераторов.

Ю.Б. Кобзаревым были опубликованы статьи [261; 268; 267], посвященные расчету параметров кварцевых резонаторов как элементов электронных схем, что позволяло производить их расчеты. Им были исследованы различные схемы кварцевой стабилизации частоты, сформулированы различия между осцилляторными схемами и схемами, работающими в режиме «затягивания частоты». Примечательно, что статьи Ю.Б. Кобзарева стали одними из первых публикаций по этим вопросам в отечественной научно-технической литературе. В них были даны ответы на многие вопросы, с которыми сталкивались разработчики схем стабилизации частот генераторов.

В 1927 г. состоялась первая в СССР конференция по пьезоэлектрическим колебаниям, на которой Ю.Б. Кобзарев был докладчиком и ответственным секретарем. В 1928 г. на физико-механическом факультете ЛПИ им был организован специальный семинар по этой проблеме. С этого времени в нашей стране начались широкие исследования по использованию кварца в радиотехнике². Впоследствии на их основе сформировалось такое научное направление как акустоэлектроника.

Следующий цикл работ Ю.Б. Кобзарева посвящен развитию «квазилинейного»

² В настоящее время кварцевые резонаторы и другие устройства на основе кварца являются неотъемлемыми элементами как бытовой (например, электронных часов), так и специальной радиотехнической аппаратуры. Они широко используются в радиопередатчиках средней и большой мощности, в стандартах времени и частоты в системах многоканальной связи. Кварцевые линии задержки применяют в радиолокации.

метода³ [263] и обоснованию его связи со строгими методами исследования нелинейных колебательных систем (см. главу 4). Преимущества квазилинейного метода заключаются, с одной стороны, в его большой простоте, с другой же стороны в том, что он оперирует привычными и наглядными представлениями. Это при его недостаточной строгости придает ему характер эвристического метода.

Квазилинейный метод применяют для исследования автогенераторов и других устройств, в которых напряжения (или токи) мало отличаются от гармонических. Он состоит в замене соотношений между токами и напряжениями в схеме соотношениями между их первыми гармониками. Тем самым, нелинейную задачу удастся свести к линейной путем замены параметров цепи, зависящих от величины силы тока (напряжения), средними параметрами, которые определяются с учетом зависимости среднего параметра от амплитуды. После этого колебательную систему можно описать линейными уравнениями. Решая их (например, с помощью метода комплексных амплитуд), можно вычислить амплитуды и частоты стационарных колебаний, определить условия самовозбуждения, исследовать переходные процессы и т. п.

С помощью квазилинейного метода Ю.Б. Кобзаревым был рассмотрен ряд сложных вопросов теории автогенераторов [258; 264; 257]. Например, им были проанализированы различные режимы деления и умножения частоты с помощью автогенераторов, получены общие дифференциальные уравнения первого приближения, позволяющие исследовать переходные и квазипериодические режимы, а также устойчивость периодических режимов в ламповом генераторе, находящемся под воздействием внешней гармонической ЭДС и др.

Разработанная Ю.Б. Кобзаревым теория нелинейных колебаний, близких к гармоническим или квазигармоническим, стала классической. Она вошла во все вузовские учебники по радиотехнике и стала эффективным инструментом для анализа и расчета многих радиотехнических устройств.

Ю.Б. Кобзаревым были также выполнены работы в области теории линейных систем. Им были написаны статьи по теории регенеративного приемника [265], теории резонансного усилителя [259] и по нестационарным процессам в многокаскадных линейных резонансных усилителях, где впервые при расчете нестационарных явлений

³ Этот метод был предложен немецким ученым Г. Мёллером, автором известной книги «Электронные лампы и их применения» [339].

был использован метод ММА. Последняя из указанных работ в значительной степени стимулировала исследования по теории нестационарных процессов и расчетам искажений импульсных сигналов при их усилении.

Следующий этап научной биографии Ю.Б. Кобзарева связан с его работой в качестве старшего научного сотрудника ЛФТЛ (1926–1935 гг.), а затем — в должности научного сотрудника, заведующего лабораторией ЛФТИ (1935–1943 гг.). В ЛФТЛ были начаты систематические исследования по проблеме дальнего радиообнаружения самолетов. С самого начала был выбран правильный вектор развития работ: метровый диапазон радиоволн, импульсный режим работы⁴ и осциллографический метод наблюдения сигналов, разработанный Д.А. Рожанским. После его смерти дальнейшее руководство работами было возложено на Ю.Б. Кобзарева.

Прежде всего, было проведено исследование отражательной способности самолетов и получены результаты, ставшие основой для последующих работ по их обнаружению. В то время в ЛФТЛ работали дипломники Д.А. Рожанского Н.Я. Чернецов и П.А. Погорелко. Н.Я. Чернецов занимался созданием широкополосного усилителя промежуточной частоты для приемника супергетеродинного типа, а П.А. Погорелко — эталонного генератора для калибровки приемника. Ю.Б. Кобзарев отвечал за разработку антенно-фидерных устройств, входного преобразователя, от которого зависела чувствительность приемника, и выходного устройства (впоследствии — электронно-осциллографического устройства). Вскоре к группе Ю.Б. Кобзарева присоединился лаборант А.А. Малеев (рис. 30п).

Исследователям была поставлена задача в короткий срок (к осени 1935 г.) изготовить аппаратуру, которая позволила бы в реальных условиях получить количественные характеристики отражения самолетом радиоволн. Испытания планировалось провести на подмосковном полигоне. В лаборатории П.К. Ощепкова в Москве был разработан передатчик, работавший на длине волны 3–4 м в режиме непрерывных, модулированных частотой 1 кГц колебаний. В экспериментах самолет летал вокруг полигона по круговым траекториям разного радиуса и на различной

⁴ Импульсный метод основан на измерении (например, с помощью наблюдения импульсов на экране электронно-лучевой трубки) времени запаздывания отраженного от объекта радиоимпульса (эхо-сигнала) по отношению к излученному. В 1925 г. английские ученые Г. Брейт и М. Тьюв впервые применили его для измерения высоты слоя «Е» ионосферы.

высоте. Сигналы, отраженные от самолета, считывались со стрелочного прибора и записывались вручную.

В процессе этой работы удалось получить обширные данные, позволившие оценить перспективы развития техники обнаружения самолетов. В частности, была обоснована так называемая линейная система обнаружения самолетов с помощью непрерывного излучения. Излучающие и принимающие устройства в этой системе располагались вдоль линии, параллельной обороняемой границе. Ее пересечение самолетом могло надежно регистрироваться. Такая система была разработана (под руководством Д.С. Стогова) и в сентябре 1939 г. принята на вооружение под названием «РУС-1». Она эксплуатировалась в 1940 г. на Карельском перешейке во время советско-финской войны. Во время Великой Отечественной войны система «РУС-1» была перебазируется в Закавказье и на Дальний Восток.

Следующим этапом работ стало проведение испытаний импульсного метода. В ленинградской лаборатории Опытного сектора УПВО, которую возглавлял бывший сотрудник ЛЭФИ В.В. Цимбалин, к 1937 г. были разработаны генераторные лампы ИГ-8 большой мощности (порядка 100 кВт), работавшие в диапазоне длин волн 3,5–4 м. 17 октября 1937 г. были проведены решающие эксперименты по обнаружению самолетов, летавших на различных высотах, с помощью импульсной радиолокационной установки. Предельная зафиксированная на фотоснимках дальность составила 12 км, а визуально наблюдались сигналы от самолета (типа Р-5) на расстоянии 17 км. При испытаниях использовался маломощный (около 1 кВт) передатчик. Поскольку все характеристики приемника и передатчика были известны, можно было оценить отражательную способность самолета, дальность действия установки при переходе к генераторным лампам большой мощности и высоконаправленной антенны приемника.

После проведения успешных опытов по обнаружению самолетов для ускорения дальнейших работ было принято решение разработку мощного импульсного передатчика осуществлять совместными усилиями ЛФТИ и Опытного сектора. При этом основная трудность состояла в создании импульсного модулятора. Однако летом 1937 г. Опытный сектор был ликвидирован, а П.К. Ощепков — арестован. Финансирование работы за счет средств Управления ПВО было прекращено. В этой непростой ситуации директор ЛФТИ А.Ф. Иоффе, понимая исключительную важность работ, продолжил ее финансирование за счет средств института.

Радиолокационная установка была готова к испытаниям к августу 1938 г. При этом группе Ю.Б. Кобзарева удалось усовершенствовать используемую аппаратуру: был создан мощный импульсный передатчик на новых лампах ИГ-8 с мощностью 40–50 кВт при длительности импульса 10 мкс. Кроме того, были улучшены характеристики приемных и передающих антенн типа «волновой канал». В индикаторном устройстве применялась линейная развертка, позволявшая определять расстояние до самолета с большей точностью.

В августе 1938 г. на полигоне в Мытищах были проведены испытания радиолокатора с передатчиком мощностью 50 кВт. В экспериментах самолеты (бомбардировщики типа СБ) надежно обнаруживались на расстояниях до 55 км (рис. 31п). М.М. Лобанов в книге «Развитие советской радиолокационной техники» писал: «Это был блестящий по тому времени успех коллектива ЛФТИ и импульсной техники, показавший, что проблема дальнего радиообнаружения самолетов принципиально решена и последующая ее реализация потребует только инженерно-конструкторских и технологических решений...» [Цит. по: 270. С. 19]. При этом были впервые измерены характеристики рассеяния УКВ самолетами (диаграммы рассеяния самолетов) и определены эффективные площади рассеяния.

Результаты испытаний позволили поставить вопрос о создании промышленных образцов импульсных радиолокаторов и их серийном производстве для целей ПВО. Это стало возможным, во многом благодаря инициативе и поддержке А.Ф. Иоффе. Постановлением Комитета обороны при СНХ в 1939 г. к работам был привлечен НИИ-20, которому было поручено совместно с ЛФТИ изготовить первые опытные образцы радиолокаторов и подготовить их к промышленному выпуску.

К началу Великой Отечественной войны было налажено промышленное производство радиолокаторов «РУС-2» в двух вариантах — автомобильном (РЛС «Редут») и перевозимом в упаковках (РЛС «Пегматит», главный конструктор М.С. Рязанский). Именно РЛС «Редут» (рис. 32п) обеспечивали оборону Москвы и Ленинграда во время наступления фашистских войск.

По инициативе А.Ф. Иоффе в п. Токсово под Ленинградом была построена стационарная РЛС. Она начала функционировать в 1940 г. и предназначалась для проведения работ по совершенствованию радиолокационной техники. На ней были проведены измерения эффективных сечений рассеяния реальных целей, осуществлены

исследования по созданию одноантенного варианта РЛС и системы опознавания своих самолетов. Благодаря высоким антеннам она позволяла обнаруживать самолеты на больших расстояниях, а также низколетящие цели.

Отметим и другую работу военных лет — создание самолетной установки, обеспечивающей наведение истребителей в ночное время — «Гнейс-2». Кроме того, была сконструирована РЛС «Редут-К», которая была установлена на одном из крейсеров Черноморского флота. При первых налетах фашистской авиации на Севастополь радиолокатор давал весьма точные данные о воздушной обстановке, которые передавались по линиям связи на командный пункт ПВО. Это позволило зенитным батареям заблаговременно подготовиться к отражению воздушных налетов.

В марте 1943 г. заместителем наркома электропромышленности был назначен А.И. Берг. 4 июля 1943 г. перед началом битвы на Курской дуге вышло постановление ГКО «О создании Совета по радиолокации при Государственном Комитете Обороны» [420; 404]. Председателем Совета был назначен секретарь ЦК ВКП(б) Г.М. Маленков, а его заместителем — А.И. Берг. Деятельность Совета расширилась после того, как в начале 1945 г. в нем был создан НТС. Его главная задача состояла в формировании научно-технической политики в процессе развития радиолокации. Председателем НТС сначала был Ю.Б. Кобзарев, а затем — А.Н. Щукин.

В истории советской радиолокации это постановление сыграло важнейшую роль, так как дальнейшее развитие нового научно-технического направления и отрасли в целом проводилось под непосредственным контролем высшего руководства страны. С образованием Совета по радиолокации была выработана стратегическая линия в области не только радиолокационной, но и радиоэлектронной техники в целом, разработаны программы по созданию радиолокационной аппаратуры для ПВО, ВВС, ВМФ, сухопутных войск. При этом началась организация (или перепрофилирование) специализированных НИИ, КБ, заводов.

Для развития радиолокационных методов и аппаратуры требовались высококвалифицированные специалисты в этой области. В связи с этим в 1943 г. Ю.Б. Кобзареву было поручено организовать в МЭИ на радиотехническом факультете кафедру радиолокации (по соображениям секретности она называлась кафедрой радиотехнических приборов). Ю.Б. Кобзарев вспоминал «Вскоре после организации “Совета” А.И. Берг завел со мной разговор о том, что понадобятся кадры инженеров-

радиолокационщиков и потому необходимо организовать кафедру радиолокации в одном из московских ВУЗов. Я, по его мнению, должен был заняться этим делом» [270. С. 25]. Ю.Б. Кобзарев был заведующим этой кафедрой в период 1943–1955 гг.

В 1947 г. в МЭИ по постановлению Правительства был создан ССР отдела НИР МЭИ, в задачи которого входило создание радиотехнических систем для нужд ракетной техники. Директор МЭИ В.А. Голубцова настаивала на том, чтобы Ю.Б. Кобзарев возглавил эти работы, однако он отказался. При этом он порекомендовал привлечь к работам ССР В.А. Котельникова, заведующего кафедрой основ радиотехники МЭИ. Он и был назначен главным конструктором ССР. Став заместителем В.А. Котельникова, ученик Ю.Б. Кобзарева А.Ф. Богомоллов (рис. 33п) привлек к работам ряд сотрудников кафедры радиотехнических приборов и студентов старших курсов.

Применительно к ракетной технике ставилась задача измерения траектории движения ракет. В классической радиолокации самолеты оснащались системами опознавания «свой — чужой» и на них устанавливались ретрансляторы, излучавшие ответный сигнал, по которому на индикаторе РЛС отличали свои самолеты от чужих. Для проведения траекторных измерений требовались калибровка времени ретрансляции, ее высокая стабильность, а также возможность одновременной работы с тремя наземными РЛС (определение координат «по трем дальностям»). Для этого необходимо было разработать новые бортовые ретрансляторы и усовершенствовать наземные РЛС. Эти проекты и стали первоочередными в ССР. Отдельный круг вопросов, исследуемых в ССР, был связан с созданием телеметрических систем контроля ракетных систем.

Под руководством и при непосредственном участии Ю.Б. Кобзарева на кафедре радиотехнических приборов в МЭИ были разработаны основополагающие концепции подготовки радиоспециалистов в области радиолокации, созданы основные учебные курсы и хорошо оборудованные лаборатории. После преобразования Совета по радиолокации в Комитет по радиолокации основным местом работы Ю.Б. Кобзарева стал НИИ-20 (сейчас ВНИИРТ) — ведущий институт промышленности по радиолокации, где под его руководством начались работы по созданию когерентно-импульсной радиолокационной техники и теории оптимальной обработки радиолокационных сигналов [98].

Ю.Б. Кобзарев работал в НИИ-20 с 1945 по 1956 гг. в качестве заведующего лабораторией, заведующего отделом, председателя Ученого Совета института. Прежде

всего, Ю.Б. Кобзарев и его сотрудники должны были выполнить две крупные опытно-конструкторские работы:

- 1) разработать стационарную РЛС «Обсерватория» (П-50), предназначенную для дальнего обнаружения самолетов противника и наведения истребителей в системе ПВО;
- 2) создать подвижную РЛС «Перископ» (П-20) для обнаружения самолетов противника и наведения на них истребительной авиации.

Данные РЛС были изготовлены в кратчайшие сроки и запущены в серийное производство. Они работали в сантиметровом диапазоне длин волн. Несмотря на то, что программа по созданию П-50 и П-20 была успешно выполнена, Совет по радиолокации не включил в техническое задание на эти станции требования на их помехозащищенность в условиях воздействия пассивных помех.

Одной из проблем, возникших при боевом применении РЛС уже в конце 1943 г., стали так называемые «пассивные помехи». В этот период они представляли собой основное средство борьбы с РЛС. С самолетов выбрасывались ленты из алюминиевой фольги (дипольные отражатели), которые создавали отраженные сигналы значительно более мощные, чем сигналы от самолетов. Эти помехи существенно осложняли работу радиостанций. В целях скорейшей разработки средств защиты от пассивных помех Советом по радиолокации был объявлен изобретательский конкурс. Его предполагаемые участники были созваны на совещание, где были объявлены условия конкурса. Ю.Б. Кобзарев выступил с кратким сообщением о возможных методах борьбы с дипольными помехами. Особое внимание он уделил когерентно-импульсной технике, в частности, ее модификации, основанной на применении метода когерентного гетеродина — вспомогательного источника когерентных колебаний, фазированного импульсами самого передатчика.

В 1944 г. Ю.Б. Кобзаревым была подана в Комитет по изобретениям и открытиям заявка на радиолокационную систему с когерентной обработкой сигналов. В НИИ-20 он получил возможность осуществить эту идею на практике. В этом институте была создана лаборатория № 35, которую возглавил Ю.Б. Кобзарев. Сотрудниками лаборатории были Л.Н. Кисляков (заместитель начальника лаборатории), Г.Я. Каганская, И.И. Холкина, А.И. Шефлер, В.А. Ландер, И.М. Владимирова, Г.В. Румянцев, В.И. Павлюк и др.

По постановлению Совета Министров СССР в НИИ-20 в срочном порядке 1949 г.

была развернута НИР «Стекло» по теме «Разработка метода уменьшения помех от местных предметов, метеофакторов (дождь, снег, облака) и дипольных отражателей в станциях дальнего обнаружения». В ней принимали участие Ю.Б. Кобзарев, Л.Н. Кисляков, Н.И. Данилов, Г.Я. Каганская, И.И. Холкина, А.И. Шефлер, В.А. Качкин.

В рамках НИР «Стекло» началась разработка когерентно-импульсной техники применительно к новым РЛС дальнего обнаружения, работающим на длине волны 10 см. Одна из главных проблем состояла в обеспечении когерентности принимаемых сигналов от периода к периоду при непрерывном формировании зондирующих сигналов (когерентность предполагалось осуществить с помощью фазирования когерентного гетеродина). С этой целью было необходимо решить следующие задачи:

- обеспечить высокую фазовую стабильность генерируемых в РЛС импульсных и непрерывных колебаний;
- совместить с высокой точностью эхо-сигналы, принятые в соседних периодах работы РЛС (для этого было необходимо осуществить «запоминание» импульсов на период их повторения).

РЛС с такими характеристиками тогда не существовало. Решение поставленных задач потребовало существенного изменения структуры РЛС, введения в нее новых элементов и существенного повышения качества работы уже имеющихся устройств. В 1949 г. НИР «Стекло» была завершена. При ее выполнении было доказано, что предложенный Ю.Б. Кобзаревым способ защиты РЛС от пассивных помех может применяться в РЛС дальнего обнаружения. При этом была разработана теория когерентно-импульсных РЛС. Также были решены ключевые вопросы когерентной техники, изложенные в научно-технических отчетах. Некоторые из них были напечатаны в сборниках трудов НИИ-20 [262; 260]. В статье [266] Ю.Б. Кобзарев рассмотрел одну из важнейших задач, решаемых при проектировании когерентно-импульсных РЛС, — определение величины вызванных движением антенны флуктуаций сигнала («флуктуаций обзора»). Помимо этого, им была разработана теория гребенчатых фильтров значительно раньше, чем Г. Урковицем в США. В статье [262] Ю.Б. Кобзаревым была изложена теория синхронизации когерентного гетеродина.

Кроме того, были определены основные требования ко всем элементам когерентно-импульсной системы, которые нашли свое подтверждение в ходе испытаний, а также даны рекомендации по встраиванию когерентно-импульсной

системы в серийные РЛС «Перископ» и «Обсерватория». Как писал в то время Ю.Б. Кобзарев: «Все основные вопросы когерентно-импульсной техники к началу 50-х годов были разрешены. Появилась возможность разработки опытных образцов РЛС с когерентно-импульсным режимом, а в некоторых случаях приставок, превращающих существующие станции в когерентно-импульсные» [Цит. по: 98].

К 1954 г. в лаборатории Ю.Б. Кобзарева были получены научно-технические результаты, на основе которых была разработана первая в СССР когерентно-импульсная РЛС обнаружения с защитой от пассивных помех⁵ — двухкоординатная РЛС дециметрового диапазона волн «Тропа» (П-15). Эта станция позволяла обнаруживать низколетящие цели. В ней была решена проблема выделения сигналов от цели на фоне мощных отражений от подстилающей поверхности, метеообразований, дипольных отражателей, интенсивность которых могла во много раз превосходить полезный сигнал (была использована система селекции движущейся цели с использованием линий задержки). РЛС «Тропа» была принята на вооружение в 1955 г. и стала самой массовой РЛС войск ПВО (рис. 34п). Ее модификация — РЛС «Дунай» (П-19) находится на вооружении и в настоящее время.

В 1956 г. лаборатория № 35 была преобразована в отдел (ему присвоили № 44), состоящий из семи самостоятельных лабораторий. Начальниками лабораторий отдела стали ближайшие сотрудники Ю.Б. Кобзарева: Л.Н. Кисляков, В.А. Ландер, И.И. Владимирова, Г.В. Румянцев, В.И. Серебренников, Е.И. Клинский, В.Г. Срагович. Некоторые из них вскоре защитили кандидатские и докторские (Л.Н. Кисляков, Г.В. Румянцев и В.А. Ландер) диссертации.

Организация отдела № 44 была связана с необходимостью расширения и углубления поисковых и инженерных работ в области помехозащиты РЛС. Первой из них стала НИР «Горизонт» «Исследование возможности создания РЛС для обнаружения воздушных целей над морской поверхностью за пределами горизонта» (1954 г.). Ее научным руководителем был Ю.Б. Кобзарев. Для выполнения этой НИР использовался метровый диапазон волн. Обработка принятых эхо-сигналов проводилась с помощью набора узкополосных доплеровских фильтров (с полосой пропускания в несколько

⁵ Ранее работы по изучению пассивных помех были развернуты в ЦНИИ-108. Наиболее известным исследованием в этой области является работа сотрудника этого института М.А. Леонтовича «Теоретические основы методы создания дипольных помех» (1944 г.).

герц), производящих их когерентное накопление. Подавление сигналов, отраженных от морской поверхности, осуществлялась путем исключения из приема тех фильтров, где обнаруживался сигнал помехи.

НИР «Горизонт» была успешно завершена в ходе испытаний на Балтийском море. Значение этой работы состояло не только в решении проблемы обнаружения низколетящих объектов над водной поверхностью, но и в формировании общих представлений о разрешающей способности РЛС на примере использования импульсных когерентных сигналов.

Помимо этого, сотрудниками Ю.Б. Кобзарева был выполнен ряд других работ в НИИ-20: НИР «Бахрома» — «Исследование когерентного накапливания как средства увеличения дальности действия импульсных станций дальнего обнаружения», НИР «Пучок» — «Разработка нового метода защиты от пассивных и активных помех РЛС обнаружения воздушных целей» и другие работы, заложившие основы дальнейшего развития радиолокации. Полученные результаты были использованы при создании новых поколений РЛС. В дальнейшем многие из сотрудников Ю.Б. Кобзарева по НИИ-20 возглавили новые научные направления, стали главными конструкторами новых радиолокационных систем.

Следующий этап научной деятельности Ю.Б. Кобзарева связан с его работой в ИРЭ АН СССР. В 1955 г. он стал заведующим отделом техники высокой частоты, затем — заведующим лабораторией методов селекции электромагнитных колебаний, отделом статистических исследований, советником при дирекции. В ИРЭ Ю.Б. Кобзарев проработал до 1992 г. Под его руководством были продолжены исследования в области радиолокации, а также получили развитие новые научные дисциплины, связанные со статистической обработкой радиосигналов, с изучением радиотеплового излучения Земли и естественных случайных низкочастотных полей Земли.

По радиофизическому профилю в ИРЭ были объявлены три правительственные темы: «Загорск», «Саратов» и «Пенза». Руководителем «Саратова» стал В.А. Котельников, «Пензы» — Г.С. Горелик, а «Загорска» — Ю.Б. Кобзарев. Тема «Загорск» заключалась в создании радиолокационных методов с повышенной помехоустойчивостью. Это направление исследований было связано с повышением помехозащищенности, улучшением тактико-технических характеристик РЛС, оптимизацией больших радиолокационных систем, в первую очередь с применением

когерентной радиолокационной техники, использованием сложных сигналов и оптимизацией их обработки.

Потенциал РЛС зависит от ее таких технических характеристик как мощность передатчика, КНД антенной системы и шум-фактора приемника. Заслуга Ю.Б. Кобзарева состояла в том, что он сфокусировал внимание на методической стороне повышения обнаруживаемых радиолокационных целей, на способах обработки принятых сигналов. В то время существовало два магистральных направления исследований по улучшению помехоустойчивости радиоприема: теория информации и статистическая теория различения гипотез. Обе теоретические концепции приводили к одинаковым качественным выводам о преимуществах того или иного способа обработки принимаемого сигнала.

Сотрудники Ю.Б. Кобзарева занимались поиском оптимального решения задачи в условиях неизбежной случайности и некоторой неопределенности исходных данных. В итоге исследований было показано, что из-за наличия шумов не существует алгоритма обработки принятого сигнала, позволяющего безошибочно фиксировать наличие или отсутствие радиолокационной цели. Решение может оказаться верным только чисто случайно. Задача состоит в нахождении алгоритмов, оптимальных для условий радиоприема и физических свойств цели. Как отметил М.С. Александров, «потребовалось незаурядное педагогическое мастерство и научное мужество Юрия Борисовича, чтобы убедить в этом заказчиков, считавших, что любое решение, предложенное Академией наук, должно быть абсолютно безошибочным» [270. С. 481].

Ю.Б. Кобзаревым и его учениками были найдены алгоритмы, позволяющие увеличить вероятность правильного обнаружения сигнала и уменьшить вероятность ложной тревоги. Полученные результаты сыграли важную роль в повышении эффективности РЛС и создании систем ракетно-космической обороны страны.

В общей сложности в ИРЭ под руководством Ю.Б. Кобзарева было выполнено 15 НИР. В этих работах ему помогали В.А. Епанечников, А.С. Савельев, Ю.А. Айбиндер, С.И. Дьяков. В 1956 г. Ю.Б. Кобзарев пригласил в лабораторию своего бывшего аспиранта из МЭИ А.Е. Башаринова, а год спустя — М.С. Александрова. Группа А.Е. Башаринова занималась вопросами радиотеплового излучения Земли, а группа М.С. Александрова — исследованиями в области СДВ.

Разделение тематики привело к увеличению числа сотрудников лаборатории, а

затем и к ее разделению на две части. Кроме того, по инициативе Ю.Б. Кобзарева в ИРЭ сформировалось еще несколько лабораторий, в которых изучались статистические вопросы выделения сигналов. В 1968 г. они были объединены в отдел статистических исследований, который и возглавил Ю.Б. Кобзарев. Руководителем же его прежней лаборатории стал М.С. Александров.

Ученики Ю.Б. Кобзарева, начав работы в области активной радиолокации, постепенно переключились на изучение вопросов пассивной радиолокации, не требующей работы радиопередатчиков. Так начались исследования фоновых шумовых сигналов, излучаемых земной и водной поверхностями и другими объектами, которые находятся в пределах диаграммы направленности антенны радиолокатора. Эта научная деятельность велась при участии А.Е. Башаринова, Б.Г. Кутузы, В.М. Полякова и других сотрудников ИРЭ.

Проводимые работы носили инновационный характер, так как значительно опережали зарубежные исследования в этой области. Они привели к формированию такого раздела радиофизики как «дистанционное зондирование». В его рамках осуществляются исследования состояния атмосферы, водной и земной поверхностей по их естественному (радиотепловому) излучению в СВЧ-диапазоне. По данному научному направлению под руководством Ю.Б. Кобзарева более десяти специалистов ИРЭ стали кандидатами, а четверо — докторами (А.Е. Башаринов, М.С. Александров, Л.Т. Ремизов, Д.С. Добряк) технических наук.

Ключевым событием в области дистанционного зондирования стал запуск в 1968 г. спутника «Космос-243». На нем впервые в мире был осуществлен эксперимент по исследованию радиоизлучения Земли из космоса, опередивший более чем на 4 года аналогичные американские исследования.

В ИРЭ научная школа Ю.Б. Кобзарева занималась также изучением диапазона СДВ. Ученые пытались найти эффективные способы обнаружения радиосигналов от ядерных взрывов. Именно решение этих задач стимулировало изучение статистических свойств естественного флуктуационного поля Земли в низкочастотной области спектра электромагнитных волн — в диапазонах ОНЧ и СНЧ, а также сигналов в этих диапазонах, образующихся при грозовых разрядах, ядерных взрывах и пусках ракет. Для выполнения данных работ была развернута сеть приемных пунктов, оснащенных автоматизированной аппаратурой. Она охватывала практически всю территорию СССР,

что позволило получать исчерпывающую картину происходящих явлений.

Под руководством Ю.Б. Кобзарева научные исследования в диапазоне СДВ проводились по двум основным направлениям.

1) Изучение флуктуаций электромагнитного поля поверхности Земли как нестационарного негауссова процесса.

Актуальность исследования флуктуаций электромагнитного поля Земли в диапазоне СДВ (особенно тех, которые обусловлены грозовой активностью) связана с тем, что они существенно затрудняют работу служб дальней связи, времени, радионавигации и т. п.

Источниками наиболее мощных — импульсных помех ОНЧ — являются разряды атмосферного электричества в грозовых очагах. Каждый удар молнии в поверхность Земли или межоблачный разряд порождает одно или несколько ОНЧ импульсных колебаний — так называемые атмосферерики.

Ю.Б. Кобзарев и его коллеги при изучении статистических характеристик атмосферерики широко использовали методы математической статистики и статистической теории принятия решений. Тем самым, им удалось исследовать свойства источников атмосферерики и результирующего поля помех, созданного этими источниками. При этом была разработана статистическая модель импульсного естественного поля Земли в диапазоне ОНЧ (1–30 кГц) и СНЧ (0,1–1 кГц). В ее основу были положены данные систематических измерений характеристик этого поля в различных географических и сезонных временных условиях в сочетании с применением математического аппарата теории случайных потоков.

Результаты работ по данной тематике были приведены в статье [271].

2) Изучение гроз как источников процессов возникновения, перемещения и затухания грозовых очагов, их связи с метеорологическими фронтами, изучение особенностей их геофизического местоположения

Наблюдение грозовой активности относится к одной из задач общего экологического мониторинга Земли. Одним из практически важных результатов этих исследований стало создание специальной аппаратуры для дистанционного однопунктного определения местоположения очагов грозовой активности.

Результаты исследований, проведенных Ю.Б. Кобзаревым и его сотрудниками, были опубликованы в статье [10].

Отметим, что 10 сентября 1956 г. впервые был обнаружен и надежно идентифицирован ядерный взрыв в США на расстоянии 2700 км от его эпицентра. 13 сентября 1958 г. была создана под руководством А.И. Устюменко Служба специального контроля для обнаружения ядерных взрывов. Благодаря работам научной школы Ю.Б. Кобзарева, удалось, в конечном счете, создать методы надежного обнаружения ядерных взрывов. Это явилось весомым аргументом при подписании в 1963 г. договора между США и СССР о запрещении ядерных испытаний в трех средах.

В 1970 г. Ю.Б. Кобзарев был избран действительным членом АН СССР по отделению «Общая физика и астрономия», что стало признанием его выдающихся научных заслуг (членом-корреспондентом он стал в 1953 г.). В 1975 г. в АН был создан научный совет по проблеме «Статистическая радиофизика» (председатель Ю.Б. Кобзарев), под эгидой которого проводились совещания и конференции по различным вопросам статистической радиофизики, формировались направления исследований в этой области. Научный совет курировал и активно поддерживал новые исследования и в области радиолокации. Укажем лишь некоторые из них.

- Нелинейная радиолокация (руководитель — член-корреспондент РАН В.Б. Штейншлейгер).
- Подповерхностная радиолокация (руководитель — доктор технических наук М.И. Финкельштейн).
- Радиолокационное картографирование поверхности планет с использованием радиолокаторов с синтезированной апертурой.
- Радиофизические исследования Земли для целей сельского хозяйства, минералогии, геологии, метеорологии, океанологии и климатологии и др.

При научном совете была организована секция «Радиопомехи природного происхождения» (председатель М.С. Александров). Благодаря ее деятельности были проведены три Всесоюзные конференции на тему «Прием и анализ сверхнизкочастотных колебаний естественного происхождения».

С конца 1990-х гг. тематика работы этой секции расширилась. В орбиту интересов ученых вошли вопросы, связанные с изучением электромагнитных полей живых существ (прежде всего, человека), и составлением прогнозов землетрясений по их предполагаемым электромагнитным предвестникам. Впоследствии в ИРЭ по инициативе и под руководством Ю.В. Гуляева была создана лаборатория для

исследования физических излучений, создаваемых живыми организмами. Деятельность этой лаборатории (центра «Электронные диагностические системы») направлена на создание новых неинвазивных методов медицинской диагностики.

Ю.Б. Кобзарев был инициатором изданий и научным редактором ряда монографий и книг по теории электромагнитного поля, радиолокации, флуктуационным процессам, теории статистического обнаружения сигналов. Они стали настольными для многих поколений специалистов по радиофизике. Ю.Б. Кобзарев проявил себя и как историк науки, написав научно-биографический очерк о Д.А. Рожанском [272], материал о зарождении отечественной импульсной радиолокации [270. С. 395–449]⁶.

Жизнь Ю.Б. Кобзарева оборвалась 25 апреля 1992 г. В своей автобиографии он писал: «Много сил было вложено и в другие дела, как в области радиолокации, так и в решение других научных проблем, радиотехники и радиофизики. Я не занимался саморекламой, не добивался наград, ученых степеней и званий, не вступал в партию, чтобы обеспечить себе карьеру» [233]. На наш взгляд, приведенный фрагмент наилучшим образом характеризует его жизненное кредо.

Становление научной школы. Возникновение научной школы Ю.Б. Кобзарева связано с зарождением радиолокации как важнейшего направления радиофизики. Под его руководством разрабатывались как теоретические концепции и методы, так и оригинальная радиолокационная аппаратура. Исследования Ю.Б. Кобзарева и его коллег привели к формированию импульсной и когерентно-импульсной радиолокации, созданию статистической теории радиолокации. Разумеется, без помощи сотрудников и учеников, ему было бы сложно справиться с различными НИР в этой области. Это и стало одной из причин, повлиявшей на становление научной школы Ю.Б. Кобзарева. Обсудим факторы, сыгравшие главную роль в этом процессе.

Во-первых, интерес к естественнонаучным предметам, технике и экспериментированию проявился у Ю.Б. Кобзарева еще в детстве. Будучи 12-летним

⁶ Один из сыновей Ю.Б. Кобзарева И.Ю. Кобзарев стал физиком-теоретиком, специалистом по ядерной физике и теории гравитации. При этом он проявил себя и как талантливый историк науки. Им были написаны очерки «Ньютон и его время». В 1979 г. И.Ю. Кобзарев был избран в Ученый совет ИИЕТ, а с 1980 г. он стал ответственным редактором ежегодника АН СССР «Эйнштейновский сборник». Отметим, что в ИИЕТ работал и сын Д.А. Рожанского И.Д. Рожанский — известный историк античной и эллинистической науки и философии.

мальчиком, он пытался читать знаменитый учебник физики К.Д. Краевича, разобраться в устройстве и принципе действия звонков, выключателей, химических источников тока. Систематические занятия физикой Ю.Б. Кобзарев начал в школьные годы, которые он провел в Кисловодске. В своих автобиографических записках он писал: «В Кисловодске была небольшая городская библиотека... Я проглатывал много книг из этой библиотеки. Я схватился за фундаментальный курс теоретической механики Билибина, но он оказался мне не под силу и тогда я принялся самым тщательным образом штудировать “Элементы высшей математики” Лоренца. Эту книгу я, можно сказать, любил всей душой» [270. С. 14].

Ю.Б. Кобзарев с позволения администрации библиотеки работал в книгохранилище, где штудировал различные словари, книги по физике и математике. Так, например, из энциклопедического словаря Брокгауза и Ефрона он узнал о теории электромагнитного поля Дж.К. Максвелла, а из журналов «Успехи физических наук» — о теории относительности.

Как отмечал Ю.Б. Кобзарев, «эти занятия не только разжигали мой интерес к физике, но и формировали мое мировоззрение. Поступая в университет, я имел уже сложившиеся взгляды и никакое кликушество, никакая, в частности, бешеная травля теории относительности, с которой я встретился в первый же год обучения в университете, не могли на меня повлиять» [Там же].

Таким образом, увлечение Ю.Б. Кобзаревым физикой и математикой органично сочеталось с тягой к проведению экспериментов и изучению устройства различных технических объектов. Позже эти наклонности проявились в деятельности его научной школы. Работая со своими учениками, Ю.Б. Кобзарев советовал им читать научно-техническую литературу, заниматься постоянным самообразованием.

Во-вторых, значительную роль в жизни Ю.Б. Кобзарева сыграл П.А. Ребиндер — впоследствии академик АН СССР, выдающийся ученый в области физической и коллоидной химии, химической технологии. От него Ю.Б. Кобзарев получил совет изучать физику, используя «Курс физики» О.Д. Хвольсона. Он последовал этому совету, хотя часть материалов еще не мог усвоить в силу нехватки знаний. По словам Ю.Б. Кобзарева, «формулы я пропускал, но какую-то суть схватывал. И как это мне все пригодило впоследствии, в университете» [Там же].

П.А. Ребиндер, поняв, что по математике и физике Ю.Б. Кобзарев знает гораздо

больше того, что предусмотрено школьной программой, убедил его одновременно со сдачей экзаменов за шестой класс сдать их и за седьмой класс. Ю.Б. Кобзарев успешно справился со всеми аттестационными испытаниями, после чего уехал из Кисловодска в Харьков и поступил в университет. Будучи руководителем различных научных коллективов, он всегда обращал внимание на перспективных и талантливых сотрудников, поддерживал их и привлекал к научным исследованиям. Тем самым, формировался кадровый состав научной школы Ю.Б. Кобзарева.

В-третьих, огромное влияние на его формирование как ученого оказал Д.А. Рожанский. Переехав по его совету в Ленинград, Ю.Б. Кобзарев начал серьезно изучать радиотехнику. Он проводил много времени в библиотеке Государственного физико-технического рентгеновского института, читая различную радиотехническую литературу. Кроме того, в ЛПИ Ю.Б. Кобзарев посещал лекции Д.А. Рожанского по курсу «Электрические колебания и волны». Эти лекции производили на него неизгладимое впечатление своей глубиной и ясностью изложения. Вскоре Ю.Б. Кобзарев стал ближайшим сотрудником Д.А. Рожанского. По воспоминаниям Ю.Б. Кобзарева, Д.А. Рожанский однажды его повез в ЦРЛ. «Там я увидел, как делались в лаборатории Шапошникова микролампы, как они откачиваются. В ЦРЛ Дмитрий Аполлинариевич представил меня Л.И. Мандельштаму» [Там же. С. 16].

Отметим, что помимо служебных отношений Д.А. Рожанского и Ю.Б. Кобзарева связывала личная симпатия и крепкая дружба. Многие особенности характера Д.А. Рожанского и стиля его научного руководства были свойственны и Ю.Б. Кобзареву. Например, Д.А. Рожанский всегда охотно делился своими обширными знаниями со своими сотрудниками, но при этом не подавлял их своим авторитетом. Каждому своему ученику он стремился предоставить максимум самостоятельности, но при этом внимательно следил за его работой, и в трудную минуту оказывал ему поддержку и помощь. Как отмечал Ю.Б. Кобзарев, «эти качества, разумеется, привлекали к Д.А. Рожанскому молодых научных работников, которые чувствовали в нем умного и внимательного руководителя, чуткого и отзывчивого друга» [Там же. С. 457].

Итак, Д.А. Рожанский сыграл значительную роль в становлении Ю.Б. Кобзарева как ученого и будущего руководителя научной школы [13]. Он не только продолжил исследования в области импульсной радиолокации, начатые своим учителем, но и выполнил совместно со своими сотрудниками фундаментальные работы в других

направлениях радиолокации и статистической радиофизики.

В-четвертых, одним из важнейших факторов перехода Ю.Б. Кобзарева в НИИ-20 стало осознание им важности выполнения НИР «Стекло» для повышения обороноспособности страны. Как вспоминала его дочь Т.Ю. Кобзарева, «он руководствовался чувством долга, делал то, чего требовала ситуация» [Цит. по: 97. С. 129]. Кроме того, Ю.Б. Кобзарев пришел на работу в тот самый институт, который еще до войны занимался разработкой промышленных образцов РЛС «РУС-2», созданных под его руководством.

Как уже отмечалось, Ю.Б. Кобзарев получил авторское свидетельство на когерентно-импульсный метод. В 1946 г. состоялась Первая Всесоюзная конференция по радиолокации, на которой Ю.Б. Кобзарев сделал доклад, посвященный принципам когерентно-импульсной техники. Как отмечал, В.Б. Штейншлейгер (впоследствии член-корреспондент АН СССР), данный доклад в значительной мере стимулировал его работы по селекции движущихся целей для случая, когда радиолокатор размещался на движущемся объекте. Проводя эти работы, он неоднократно встречался с Ю.Б. Кобзаревым и обсуждал с ним возникающие проблемы.

Собрав коллектив единомышленников, Ю.Б. Кобзарев смог реализовать на практике когерентно-импульсный метод. В НИИ-20 при разработке когерентно-импульсных РЛС в фокусе внимания ученых находились сложные теоретические и прикладные задачи. Именно в ходе их решения и была сформирована научная школа Ю.Б. Кобзарева в области радиолокации.

В-пятых, в НИИ-20 коллектив Ю.Б. Кобзарева работал над созданием когерентно-импульсных РЛС с защитой от пассивных помех. После этого Ю.Б. Кобзарев продолжил свою научную деятельность в ИРЭ, где он и его сотрудники решали вопросы, связанные с разработкой методов обнаружения сигналов при взрывных процессах естественного (грозы) и искусственного (ядерные взрывы, старт ракет) происхождения.

Таким образом, одной из характерных особенностей научной школы Ю.Б. Кобзарева является ее ориентация на решение задач, имеющих высокий государственный статус и направленных на создание и введение в эксплуатацию новых объектов ВПК. При этом работы специального характера приводили и к появлению новых научных направлений. Например, Ю.Б. Кобзаревым и его учениками был выполнен цикл исследований по изучению радиотеплового излучения Земли и

естественных случайных низкочастотных полей Земли.

В-шестых, понимая актуальность подготовки специалистов широкого профиля в области радиолокации, Ю.Б. Кобзарев согласился возглавить кафедру радиотехнических приборов МЭИ. Впоследствии некоторые выпускники и аспиранты этой кафедры стали ближайшими его сотрудниками, руководителями отделов и лабораторий в НИИ-20 и ИРЭ. Тем самым, кафедра радиотехнических приборов МЭИ стала своеобразной кузницей научных кадров для школы Ю.Б. Кобзарева.

Исследовательская программа научной школы. Ю.Б. Кобзарев известен как ученый-радиофизик с широким диапазоном научных интересов и знаний. Он занимался изучением различных теоретических и прикладных аспектов радиофизики. Ю.Б. Кобзарев внес значительный вклад в создание теории нелинейных колебаний, близких к гармоническим или квазигармоническим, и применение ее методов к исследованию процессов в автогенераторах. Он также разработал теорию стабилизации частот ламповых генераторов, работал над использованием пьезоэлектрических кварцевых резонаторов в радиотехнических схемах, изучал теорию линейных систем и др.

Вместе с тем, магистральным направлением исследований Ю.Б. Кобзарева стала проблема дальнего радиообнаружения самолетов. При этом в ходе разработки новых методов радиолокации формировалась и научная школа Ю.Б. Кобзарева. С одной стороны, ее отличает высокий теоретический уровень полученных результатов, а с другой стороны, — их ярко выраженная прикладная направленность. Многие теоретические результаты, полученные под руководством Ю.Б. Кобзарева, были использованы для создания новых поколений РЛС.

Исследовательскую программу научной школы Ю.Б. Кобзарева можно сформулировать следующим образом. **Создание теоретических основ радиолокации, разработка активных и пассивных радиолокационных устройств и их применение в различных областях науки, техники и оборонной промышленности.**

Исследовательская программа научной школы Ю.Б. Кобзарева претерпевала изменения в связи с решением тех или иных задач в области радиолокации. Эту эволюцию можно проследить по описанию результатов научной деятельности и публикациям Ю.Б. Кобзарева и его сотрудников.

Стиль научного руководства. Ю.Б. Кобзарев всегда уделял большое внимание подготовке научных кадров. В 1927 г. он был привлечен к педагогической деятельности в

ЛПИ, в котором возглавил учебную лабораторию электрических колебаний. При этом в ЛФТЛ Ю.Б. Кобзарев стал работать в отделе коротких волн Д.А. Рожанского.

В 1932 г. Ю.Б. Кобзарев начал преподавать в Военной электротехнической академии им. С.М. Буденного. Он читал курс «Электромагнитные колебания», а также специальный курс «Ультракороткие волны». В связи с необходимостью подготовки специалистов в области радиолокации Ю.Б. Кобзаревым в 1940–1941 гг. в этом учебном заведении им был прочитан первый в СССР курс лекций по радиолокации.

После этого он организовал кафедру радиотехнических приборов в МЭИ и создал курс теоретических основ радиолокации. Будучи заведующим этой кафедрой, Ю.Б. Кобзарев не имел ученой степени и звания. Степень доктора технических наук и звание профессора были ему присвоены ВАК в 1949 г. по совокупности выполненных исследований. За период работы в этом институте (1944–1955 гг.) Ю.Б. Кобзаревым было подготовлено много высококвалифицированных специалистов, кандидатов и докторов наук.

В МЭИ обучение студентов после изучения общих курсов и до выполнения ими дипломных проектов велось выпускающими кафедрами. На радиотехническом факультете был принят иной принцип: в подготовке студентов участвовали все кафедры факультета. Особенность кафедры радиотехнических приборов состояла в том, что это была первая системная кафедра МЭИ, где начали готовить специалистов широкого профиля. Выпускники кафедры должны были не только изучить вопросы, связанные с антенными системами, передающими и приемными устройствами, импульсной техникой, системами индикации и обработки информации, но и научиться проектировать РЛС как единую систему. Такой подход был обусловлен широтой научных интересов Ю.Б. Кобзарева и его большим опытом преподавания и проведения научных исследований.

Для функционирования новой кафедры⁷ необходимо было подобрать высококвалифицированных преподавателей. По просьбе Ю.Б. Кобзарева Б.А.

⁷ В настоящее время ее возглавляет доктор технических наук, профессор А.И. Баскаков. На кафедре проводятся фундаментальные исследования принципов радиолокационного дистанционного мониторинга опасной ледовой обстановки на морском шельфе в Северных широтах России. Эти работы направлены на обеспечение безопасного судоходства, экологии и безопасности нефтегазодобычи.

Введенский, преподававший на кафедре антенных устройств и распространения радиоволн МЭИ, согласился прочесть курс антенно-фидерных устройств и распространения УКВ (после него этот курс стал читать А.Р. Вольперт). Л.Ю. Блюмберг читал курс приемных устройств УКВ, М.Д. Гуревич — курс радиопередающих устройств. Сам Ю.Б. Кобзарев вел центральный курс кафедры «Принципы радиолокации»⁸. В работе кафедры принимал активное участие и А.И. Берг.

К преподаванию на кафедре радиотехнических приборов привлекались специалисты, имевшие опыт практической работы по радиолокации. Она также оснащалась передовой техникой. По постановлению ГКО для лаборатории кафедры были переданы промышленные образцы РЛС: «Пегматит», «СОН-2А», английская станция «SLC» для управления прожектором. Все станции находились в рабочем состоянии, и студенты могли изучать их устройство и принцип действия.

Все курсы, читаемые на кафедре радиотехнических приборов, были закрытыми. Конспекты лекций сдавались после окончания занятий в секретный отдел института. Ю.Б. Кобзарев вспоминал, что «лекции читались экспромтом, но, конечно, к каждой лекции я тщательно готовился: обдумывал материал, репетировал математические выкладки» [270. С. 26]. Еще будучи студентом в 1944 г. на кафедре радиотехнических приборов начал работать В.М. Дмитраченко, вскоре пришел Р.Р. Лисициан, а в 1946 г. — А.Ф. Богомоллов. Р.Р. Лисициан и М.Д. Гуревич создавали учебную лабораторию кафедры, ставили лабораторные работы. Благодаря работе первых сотрудников кафедры (А.Ф. Богомоллова, Р.Р. Лисициана, Ю.А. Чернова), в ее распоряжении были образцы отечественных и зарубежных РЛС обнаружения и орудийной наводки, радиовысотомеры, системы опознавания, постановки помех и помехоподавления.

Молодые преподаватели, пришедшие работать на кафедру и не имевшие радиотехнического образования, вместе со студентами слушали лекции Ю.Б. Кобзарева, которые становились основой их собственных лекций. Один из студентов первых выпусков и ближайший его сотрудник М.С. Александров писал: «В своих лекциях Юрий Борисович всегда подчеркивал физическую сущность процессов, давая им

⁸ В 1969 г. под редакцией Ю.Б. Кобзарева вышла книга американского автора Р.С. Берковица «Современная радиолокация (анализ, расчет и проектирование систем)» [106], в которой были приведены теоретические аспекты радиолокации, расчеты и примеры проектирования радиолокаторов различного назначения.

наиболее общую постановку и расширяя тем самым мировоззренческий кругозор студентов, например, рассказ о приеме отраженных радиолокационных сигналов он начинал с анализа теплового равновесия антенны РЛС с космическим пространством. Такой подход выходил за рамки узкотехнической подготовки специалистов и приближался к университетской. Этим предвосхищался высокий уровень научного образования инженеров, который теперь, 40 лет спустя, стал нормой...» [270. С. 27].

В 1960-е гг. в связи со стремительным развитием радиолокации традиционные курсы кафедры были расширены. В них были введены новые разделы, связанные со статистической теорией радиолокации, применением сложных сигналов, пассивной и оптической радиолокацией, точным измерением координат и параметров движения объектов. Основная роль в модернизации курсов принадлежала АФ. Богомолу, А.Е. Башаринову, А.К. Нарышкину, Л.А. Щернаковой, А.В. Суетенко.

Ю.Б. Кобзарев считал, что кроме обучения на кафедре обязательно должна вестись НИР, причем не только в рамках дипломных работ. С его точки зрения, должны были проводиться и заказные работы по договорам с организациями. Ю.Б. Кобзарев предложил М.М. Лобанову (в то время он занимал высокий пост в Главном артиллерийском управлении) тему, посвященную разработке тренажера для подготовки операторов РЛС.

Для характеристики стиля руководства Ю.Б. Кобзарева приведем высказывание М.С. Александрова. «Юрий Борисович умел создать на кафедре атмосферу исключительной доброжелательности, стремления к взаимодействию и взаимопомощи. В основе любого заседания кафедры было сугубо деловое обсуждение текущих задач. Каждый желающий высказывал все, что у него было за душой, а желающих отмалчиваться не находилось. Реплики Юрия Борисовича будили движение мысли, его постановка задач и теоретические обобщения служили школой научного мышления, помогали осознать место каждого частного вопроса в общей цепи взаимосвязей обсуждаемой проблемы. Заседания кафедры начинались точно в назначенное время не только из-за всеобщего уважения к Юрию Борисовичу, но и потому, что участие в них было удовольствием, если не сказать наслаждением для присутствующих» [Там же. С. 28].

Ю.Б. Кобзарев вникал в научную работу каждого сотрудника. Он не только беседовал с ним или слушал его доклад на семинаре кафедры, но и садился за

экспериментальный стенд или макет прибора и вращал ручки настройки приборов.

Отметим, что Ю.Б. Кобзарев оказал мощное влияние на общее развитие радиотехнического факультета МЭИ. Он замечательно руководил работой аспирантов, щедро делился своими идеями с коллегами по факультету. Ю.Б. Кобзаревым составлялись пособия «В помощь аспиранту», где часто демонстрировалось применение новых математических методов. В одном из них метод ММА использовался для решения дифференциального уравнения Матьё, описывающего процессы в колебательном контуре с переменными во времени реактивностями (системы, которые впоследствии стали применяться в СВЧ-технике как параметрические малошумящие усилители). Кроме того, Ю.Б. Кобзарев был инициатором введения курсов по теории колебаний в учебные программы вузов. Например, в 1953 г. им был впервые в МЭИ прочитан курс лекций по теории колебаний.

Первыми аспирантами Ю.Б. Кобзарева на кафедре радиотехнических приборов были А.Ф. Богомолов, А.Е. Башаринов и Р.Р. Лисициан. Кандидатская диссертация А.Ф. Богомолова была посвящена уточнению теории блокинг-генератора, Р.Р. Лисициана — исследованию воздействия на автогенератор внешней силы. М.С. Александров выполнил дипломную работу на кафедре, а в 1948 г. он был принят в аспирантуру. В 1951 г. М.С. Александров успешно защитил кандидатскую диссертацию (его научным руководителем был Ю.Б. Кобзарев).

Организаторские способности Ю.Б. Кобзарева проявились и в процессе работы в НИИ-20. При разработке когерентно-импульсных РЛС он привлек к исследованиям математическую лабораторию, в которой имелись ЭВМ. Благодаря инициативе Ю.Б. Кобзарева, в одной из лабораторий НИИ-20 был создан уникальный стенд для синтеза сигналов цели, помех и шумов. Имитаторы, входящие в состав стенда, могли воспроизводить любые характеристики сигналов и пассивных помех (их корреляционные свойства, интенсивность, протяженность) и целей (структуру пачки принимаемых сигналов, корреляционные свойства, интенсивность) с выводами их на индикаторы. Тем самым, имитировались сигналы для той или иной РЛС.

Ю.Б. Кобзарев организовал и систематически проводил семинары по тематике исследований, проводимых в отделе № 44 НИИ-20. Семинары пользовались большой популярностью в институте. Ю.Б. Кобзарев для сотрудников НИИ-20 читал лекции по избранным вопросам радиолокации и статистической радиотехнике. Он был членом

научно-технического совета НИИ-20, руководителем междуведомственных симпозиумов по тематике, связанной с радиолокацией.

Нельзя не отметить научный, педагогический и организаторский вклад Ю.Б. Кобзарева в НИР «Стекло». Как вспоминали его ученики Л.Н. Кисляков и Г.В. Румянцев, «успеху содействовало и то, что Ю.Б. Кобзарев своей порядочностью и благожелательностью научной добросовестностью и объективностью крупного ученого, умением решать самые сложные вопросы наиболее простым и ясным путем, сумел создать в коллективе в высокой степени деловую обстановку, когда каждый сотрудник охотно делился своими мыслями с другими, привлекая их к дискуссии» [270. С. 487–488].

В НИИ-20 Ю.Б. Кобзарев был научным руководителем многих аспирантов и соискателей — сотрудников его отдела, а также ряда специалистов института и родственников по тематике предприятий. В середине 1960-х гг. только в отделе Ю.Б. Кобзарева работало 15 кандидатов наук, 3 сотрудника, защитивших докторские диссертации по темам, связанным с обработкой и селекцией радиолокационных сигналов. Ученики Ю.Б. Кобзарева принимали активное участие в разработке в НИИ-20 современных многофункциональных РЛС (например, объекта «Гамма-Д»). По наиболее сложным вопросам они обращались за консультациями к Ю.Б. Кобзареву и всегда получали поддержку и ценные рекомендации. Как вспоминали сотрудники НИИ-20, он всегда с большим интересом относился к разработке новых идей независимо от того, кто их предлагал. «Он всячески поощрял интерес к новым предложениям даже тогда, когда их полезность была далеко неясна. При этом старался никак не ущемлять права авторства. Словом, в этих вопросах он был весьма щепетилен и предельно справедлив» [Там же. С. 492].

Для понимания стиля научного руководства в научной школе Ю.Б. Кобзарева необходимо также обсудить его деятельность в ИРЭ. Им был организован семинар по вопросам статистической теории радиолокации. На него ежемесячно съезжались представители московских радиотехнических НИИ, чтобы послушать и обсудить содержание новой интересной статьи или книги. Ю.Б. Кобзарев принимал активное участие в работе семинаров, помогая докладчикам правильно и четко выражать свои мысли и оценивать значимость своих идей.

На семинарах вопросы и предложения, поступающие как от научных

сотрудников, так и от техников, обсуждались одинаково внимательно. Благодаря этому сотрудники Ю.Б. Кобзарева всегда были хорошо осведомлены о ходе текущих работ в различных лабораториях отдела статистических исследований. При этом доверительные товарищеские отношения, сложившиеся между ними, позволили выполнить огромный объем исследований. Причем они были проведены как в стенах ИРЭ, так и в полевых условиях в разных регионах нашей страны.

В заключение отметим, что Ю.Б. Кобзарева отличали творческий подход к решению актуальных задач науки и техники, чувство нового, энтузиазм в постановке и разработке сложных научных проблем, внимание и доброжелательное отношение к сотрудникам и коллегам. Обладая исключительной добросовестностью и скромностью в оценке своего вклада в выполнение научных работ, Ю.Б. Кобзарев часто отказывался от соавторства даже в тех работах, в которых непосредственно участвовал. Именно поэтому его фамилия часто отсутствовала в публикациях работ сотрудников ИРЭ, выполненных под его руководством.

Представители научной школы. В МЭИ на кафедре радиотехнических приборов учениками Ю.Б. Кобзарева стали А.Ф. Богомолов, А.Е. Башаринов, Р.Р. Лисициан, М.С. Александров. Местами локализации научной школы Ю.Б. Кобзарева в области радиолокации стали НИИ-20 и ИРЭ. В НИИ-20 в лаборатории № 35 Ю.Б. Кобзарева работали Л.Н. Кисляков, Г.Я. Каганская, И.И. Холкина, А.И. Шефлер, В.А. Ландер, И.М. Владимирова, Г.В. Румянцев, В.И. Павлюк и др. В ИРЭ сотрудниками лабораторий и отдела статистических исследований Ю.Б. Кобзарева были В.А. Епанечников, А.Е. Башаринов, М.С. Александров и др. В проектах его научной школы также участвовали Б.Г. Кутуза, В.М. Поляков и другие сотрудники ИРЭ.

Приведем список некоторых сотрудников и учеников Ю.Б. Кобзарева и сопроводим его краткими характеристиками полученных ими результатов.

- А.Ф. Богомолов — академик РАН, доктор технических наук, главный конструктор многих радиотехнических систем, лауреат Ленинской и Государственных премий СССР. В 1937 г. он с отличием окончил МЭИ по специальности «техника высоких напряжений», а в конце 1945 г. — начал работать на кафедре радиотехнических приборов. В 1955 г. А.Ф. Богомолов после ухода Ю.Б. Кобзарева в ИРЭ стал заведующим кафедрой радиотехнических приборов, которую возглавлял в течение 20 лет. В 1953 г. был организован ССР МЭИ для участия в работах по ракетной технике,

где сначала руководителем был В.А. Котельников, а после его ухода — А.Ф. Богомолов. Он был главным конструктором ОКБ МЭИ до 1989 г. Основными направлениями исследований в это время были: радиотелеметрия, траекторные измерения, фазовая пеленгация, антенные системы.

А.Ф. Богомолов и коллектив сотрудников ОКБ работали над созданием средств радиотелеметрии и траекторных измерений, обеспечивших разработку и испытания первых баллистических ракет, межконтинентальных ракет, запуск первых ИСЗ, проведение научных экспериментов в космосе.

В полетах космонавтов (от Ю.А. Гагарина до А.А. Леонова и П.И. Беляева) были использованы системы телетрансляции, телеметрии и траекторных измерений, аппаратура, сконструированная при участии А.Ф. Богомолова [214].

Степень доктора технических наук было присвоено А.Ф. Богомолову без защиты диссертации за разработку и внедрение специальных радиотехнических систем для ракетной и космической техники. Под его руководством были разработаны:

а) бортовые и наземные командно-измерительные системы для траекторных измерений и передачи телеметрической информации;

б) наземные станции спутниковой телевизионной системы «Орбита»;

в) прецизионные фазометрические системы, наземные и бортовые антенные комплексы (радиотелескоп ТНА-1500);

г) антенны с диаметрами зеркал 32 м и 64 м (установлены на полигоне в Медвежьих Озерах) для обеспечения связи с межпланетными исследовательскими аппаратами;

д) радиоинтерферометры, которые обеспечили прием информации с борта и контроль траектории движения АМС «Марс», «Венера-15» «Венера-16», «Вега», «Фобос»;

е) комплекс для радиолокационного картографирования поверхности Венеры, с помощью которого впервые в мире был составлен атлас северного полушария поверхности Венеры;

ж) спутниковые системы для экологического и промышленного мониторинга.

А.Ф. Богомолов принимал участие в программах «Интеркосмос». Он также был автором многих научных трудов, в том числе автором одно из первых отечественных учебников по радиолокации.

▪ А.Е. Башаринов — доктор технических наук, профессор, один из основателей нового научного направления в радиофизике — микроволнового дистанционного зондирования окружающей среды. В 1957 г. он начал работать в ИРЭ в лаборатории Ю.Б. Кобзарева. Научная деятельность А.Е. Башаринова была связана с применением методов статистической радиофизики к радиолокации. Совместно с Б.С. Флейшманом им была написана монография «Методы статистического последовательного анализа и их приложения» (1962 г.) [104].

По инициативе А.Е. Башаринова в начале 1960-х гг. в ИРЭ были развернуты работы по изучению особенностей теплового излучения различных природных объектов. Одновременно с теоретическими исследованиями формировалась и экспериментальная база⁹. В результате были созданы наземные СВЧ-радиометры миллиметровых и сантиметровых волн, имевшие рекордную для того времени чувствительность.

В 1962–1965 гг. сотрудниками ИРЭ и МНИИП были проведены эксперименты с борта самолета по исследованию радиоизлучения взволнованной поверхности моря, снежного покрова и др. Впоследствии А.Е. Башаринов стал инициатором создания самолета-лаборатории на базе серийного пассажирского самолета ИЛ-18. Он был оборудован современной СВЧ-радиометрической аппаратурой в широком диапазоне длин волн (от 0,8 до 30 см) и радиолокатором с синтезированной апертурой 10-сантиметрового диапазона. Выполненные теоретические исследования, а также наземные и самолетные измерения радиоизлучения атмосферы и земных покровов послужили основой для постановки спутникового эксперимента, связанного с исследованиями радиоизлучения Земли из космоса.

Ключевым моментом этих работ явился запуск в сентябре 1968 г. спутника «Космос-243», который более чем на 4 года опередил запуск аналогичного американского спутника «Nimbus-5». На спутнике «Космос-243» были установлены СВЧ-радиометры, выполнявшие измерения радиоизлучения Земли на длинах волн 0,8 см, 1,35 см, 3,4 см и 8,5 см.

В 1983 г. за разработку и внедрение СВЧ-радиометрического метода определения влажности почвы А.Е. Башаринову была посмертно присуждена Государственная

⁹ Отметим, что в этом направлении также успешно работал коллектив ученых ИКИ, руководимый В.С. Эткиным.

премия СССР.

▪ Б.Г. Кутуза — доктор физико-математических наук, профессор, специалист в области радиофизических методов дистанционного зондирования атмосферы и земной поверхности. Его научная деятельность связана с широкомасштабными исследованиями радиотеплового излучения атмосферы и системы «атмосфера — океан».

В 1955 г. Б.Г. Кутуза поступил в МФТИ. После его окончания он начал работать в ИРЭ. В 1966 г. Б.Г. Кутуза защитил кандидатскую диссертацию, посвященную исследованиям радиоизлучений планет Солнечной системы в новом (тогда еще мало освоенном) миллиметровом диапазоне радиоволн, а также СВЧ-излучения облачной атмосферы Земли. При этом он активно сотрудничал с такими выдающимися учеными, как А.Е. Башаринов, А.Е. Саломонович, М.А. Колосов, А.М. Обухов, Ю.Б. Кобзарев.

В 1960-х гг. возникла проблема дистанционного исследования излучения и поглощения облачной атмосферы в сантиметровом и миллиметровом диапазонах радиоволн с использованием ИСЗ. В рамках ее решения Б.Г. Кутузой были получены спектры ослабления миллиметровых и сантиметровых радиоволн в облачных и дождевых образованиях, включая флуктуации облачной атмосферы. Кроме того, было изучено распределение водяного пара и водозапаса облаков над акваториями Земли.

В 1963 г. Б.Г. Кутузой совместно с А.Е. Башариновым, С.Т. Егоровым и М.А. Колосовым был впервые в мире предложен и в 1968 г. реализован радиометрический способ исследования атмосферы и обнаружения областей дождевых образований с летательных аппаратов. Эти работы ознаменовали новый этап в исследованиях Земли из космоса. Благодаря усилиям Б.Г. Кутузы и его коллег в сотрудничестве с учеными предприятий промышленности были разработаны уникальные бортовые радиометрические измерительные комплексы на сантиметровых и миллиметровых волнах, которые были установлены на ИСЗ, а также предложены и развиты новые методы измерений собственного теплового излучения различных гидрометеоров (водяных осадков).

В 1980-х гг. Б.Г. Кутуза с коллегами начал изучать радиотепловую систему «атмосфера — океан». По результатам измерений, полученных с ИСЗ «Космос-1076» и «Космос-1151», Б.Г. Кутузой совместно с его учениками впервые были получены данные по влиянию морского волнения и неоднородностей атмосферы на излучение этой системы. Это позволило разработать ряд важных практических рекомендаций по

определению геофизических параметров океана и атмосферы. Б.Г. Кутуза одним из первых отечественных ученых провел совместные радиотепловые и радиолокационные измерения параметров облаков и дождя. Впоследствии он сфокусировал внимание на методы изучения суши и моря с помощью радиолокаторов бокового обзора.

В течение многих лет Б.Г. Кутуза возглавлял коллективы ученых в области разработки и применения средств дистанционного зондирования [299]. В настоящее время он заведует лабораторией дистанционного зондирования атмосферы ИРЭ РАН. За выдающийся вклад в исследования в области миллиметровых волн и дистанционного зондирования атмосферы и поверхности Земли Б.Г. Кутуза в 1987 г. был удостоен Государственной премии СССР, а в 2000 г. — Государственной премии РФ.

Результаты научной школы. Научная деятельность Ю.Б. Кобзарева в значительной степени определила развитие отечественной радиофизики и радиолокации. В 1920–1930-е гг. им был выполнен обширный цикл работ в области радиотехники и теории нелинейных колебаний. Разработанные Ю.Б. Кобзаревым теория нелинейных колебаний, близких к гармоническим или квазигармоническим, и методы инженерных расчетов автогенераторов прочно вошли во все вузовские учебники.

Под руководством Ю.Б. Кобзарева были созданы и внедрены в производство первая импульсная РЛС дальнего обнаружения самолетов (РЛС «РУС-2»), передвижной вариант РЛС «Пегматит» и другие радиолокационные установки. РЛС «Редут» были приняты на вооружение войск ПВО Красной Армии и сыграли значительную роль при обороне Ленинграда, Москвы, Мурманска и других городов нашей страны в период Великой Отечественной войны.

В начале 1941 г. коллектив ЛФТЛ в составе Ю.Б. Кобзарева, П.А. Погорелко и Н.Я. Чернецова был награжден Сталинской премией «за изобретение прибора для обнаружения самолетов». Это была первая отечественная премия в области радиолокации. В 1950-е Ю.Б. Кобзаревым и его сотрудниками были сформулированы принципы построения когерентно-импульсной радиолокационной техники и основы теории оптимальной обработки радиолокационных сигналов. Эти работы были использованы при конструировании когерентно-импульсных РЛС с защитой от пассивных помех (например, РЛС «П-15» и «П-19»). Кроме того, научной школой Ю.Б. Кобзарева была разработана теория построения РЛС, способных обнаруживать объекты на большой дальности за линией горизонта (в рамках НИР «Горизонт»).

В дальнейшем он возглавил пионерские исследования в области изучения электромагнитных колебаний в СНЧ-диапазоне. Они привели, в частности, к созданию радиотехнической системы надежного обнаружения ядерных взрывов. В свою очередь, это способствовало заключению в 1963 г. международного соглашения о запрещении ядерных испытаний «в трех средах». Большое значение имели также работы научной школы Ю.Б. Кобзарева по дистанционному зондированию атмосферы и земной поверхности в СВЧ-диапазоне. Они значительно опережали аналогичные зарубежные исследования и привели к формированию новых перспективных направлений в радиофизике, имеющих большое прикладное значение. В настоящее время методы дистанционного зондирования широко используются в экологическом мониторинге окружающей среды.

Заслуги Ю.Б. Кобзарева были высоко оценены государством. В 1975 г. ему было присвоено звание Героя Социалистического Труда. Ю.Б. Кобзарев был награжден четырьмя орденами Ленина и рядом медалей. В 1980 г. за основополагающие работы в области радиотехники, радиофизики и радиолокации ему была присуждена золотая медаль имени А.С. Попова.

Ю.Б. Кобзарева отличали ясное и оригинальное мышление, способность схватывать, казалось бы, далекие от него проблемы. Все это снискало Ю.Б. Кобзареву уважение как к выдающемуся ученому и педагогу, авторитетному руководителю и замечательному человеку.

Благодаря работам Д.А. Рожанского и Ю.Б. Кобзарева, были созданы теоретические и экспериментальные основы для появления радиолокации и дальнейшего развития ее методов. В совокупности это способствовало тому, что в настоящее время радиолокационные методы применяют в военных технологиях, навигации, метеорологии, экологическом мониторинге, космических исследованиях.

Таблица 3, заполненная применительно к научной школе Ю.Б. Кобзарева, приведена в Приложении 4 (таблица 9п).

**§ 5.2. С.Э. Хайкин и научная школа
в области экспериментальной радиоастрономии**

*«С.Э. Хайкин — основоположник русской
наблюдательной радиоастрономии» [244. С. 3]*

Н.Л. Кайдановский

Источники литературы. К библиографическим материалам, посвященным научной и педагогической деятельности С.Э. Хайкина, следует отнести:

- препринт Н.Л. Кайдановского «Профессор Семен Эммануилович Хайкин, 1901–1968» [244], в котором рассмотрена биография С.Э. Хайкина и его научный вклад в теорию нелинейных колебаний и радиоастрономию;
- книгу «Развитие радиоастрономии в СССР» [418], в которой приведен обзор развития отечественной радиоастрономии за период 1947–1987 гг.;
- книгу «A Brief History of Radio Astronomy in the USSR» [539] издательства Springer, в которой содержатся статьи по истории развития радиоастрономических исследований, проведенных в ФИАН, Горьком, ГАИШ, ИКИ, ГАО, а также в ряде астрономических обсерваторий СССР;
- книгу Л.В. Левшина «Деканы физического факультета Московского университета» [310], в которой, в частности, описана биография С.Э. Хайкина как второго декана физического факультета МГУ;
- брошюру А.С. Лонгинова и В.И. Старикова «Золотая медаль имени А.С. Попова» [323], в которой описаны биографии ученых (в том числе, С.Э. Хайкина), удостоенных этой награды;
- препринт Н.В. Карлова «Избранные главы из воспоминаний. Основные этапы сосания лапы» [250], в котором представлены его воспоминания о Крымской экспедиции (КЭ);
- очерк Н.Л. Кайдановского «К истории радиотелескопа РАТАН-600» [242];
- статьи В.И. Ивероновой, Н.Л. Кайдановского, М.А. Леонтовича и др. «Семен Эммануилович Хайкин» [223], А.Е. Саломоновича «Первые шаги советской радиоастрономии» [448], Р.Л. Сороченко «Радиоастрономия в Физическом институте им. П.Н. Лебедева: первые шаги» [454], В.В. Кудрявцева «Применение научно-школьного подхода к истории отечественной радиоастрономии» [282], Н.С. Кардашев «Радиовселенная» [249], А.С. Илюшина и А.В. Кессениха «Изгнание с родного

факультета (из биографии С.Э. Хайкина)» [230], Н.Л. Кайдановского «У истоков радиоастрономии» [246] и др.

Направление радиофизики. Стремительное развитие теоретических представлений, методов и инструментальной базы радиотехники и радиофизики привело к тому, что ученым удалось создать новые технические устройства — радиотелескопы. Оказалось, что многие астрономические объекты и их важные свойства могут быть исследованы только на радиоволнах определенной длины. В результате на стыке астрофизики и радиофизики возникло новое научное направление — радиоастрономия [283].

Объектами ее изучения являются практически все космические тела и их комплексы (от объектов Солнечной системы до Метагалактики), а также вещество и поля, заполняющие космическое пространство (межпланетная среда, межзвездный газ, межзвездная пыль, космические лучи, реликтовое излучение и т. п.). Отметим, что многие радиоастрономические открытия были удостоены Нобелевской премией. В качестве примеров можно привести обнаружение пульсаров, двойных пульсаров, реликтового излучения, анизотропии реликтового излучения.

История радиоастрономии началась в 1932 г. с открытия космического радиоизлучения американским физиком и радиоинженером К. Янским [554]. Изучая в 1933 г. на Холмделском полигоне компании «Bell Labs» атмосферные радиопомехи в метровом диапазоне волн, он обнаружил постоянный радиошум неизвестного происхождения. Его источник он отождествил с Млечным Путем. Однако открытие К. Янского не сразу было замечено астрономами. В 1937 г. американский астроном-любитель Г. Ребер, заинтересовавшись природой космического радиоизлучения, решил продолжить эти исследования. Он самостоятельно спроектировал и построил во дворе своего дома в Уитоне (пригород Чикаго) первый радиотелескоп. Он представлял собой параболическое зеркало из металла диаметром 9,5 м (фокусное расстояние — 6 м). Параболический рефлектор его антенны фокусировал слабое космическое радиоизлучение любых частот и позволял размещать в фокусе антенны любые приемники. Первые два приемника Г. Ребера, детектирующие сигнал на частотах 3300 МГц и 900 МГц, не смогли зафиксировать космическое радиоизлучение и улавливали только земные помехи. Третий приемник, рассчитанный на частоту 160 МГц (длина волны — 1,9 м), зарегистрировал в 1938 г. радиоизлучение Млечного Пути, подтвердив,

таким образом, открытие К. Янского. В 1942 г. Г. Ребер составил первую карту неба Северного полушария в радиодиапазоне.

В отличие от К. Янского, поместившего статью в техническом журнале, Г. Ребер направил результаты своих исследований в ведущее астрономическое издание — «Астрофизический журнал». Фактически, с них и началось становление радиоастрономии как науки. Однако Вторая мировая война приостановила работы в этой области. В это время начали активно разрабатываться радиолокационные методы.

Радиолокационная техника, ее крупные антенные системы и высокочувствительные приемники во многом определяли успехи радиоастрономии в первые послевоенные годы. Вскоре учеными были повторены в широком диапазоне длин волн (но с большей точностью) исследования К. Янского и Г. Ребера. Кроме того, были составлены каталоги источников радиоизлучения, включающие в себя ряд галактик и сверхновых звезд. Значительная часть работ была посвящена исследованию радиоизлучения спокойного и возмущенного Солнца. Параллельно с успехами экспериментальной радиоастрономии велась разработка новых радиотелескопов и высокочувствительной радиоприемной техники.

Как отмечалось в главе 4, инициатором развития отечественной радиоастрономии был Н.Д. Папалекси [446]. В 1942 г. он и Л.И. Мандельштам выдвинули идею радиолокации Луны. В статье [388] Н.Д. Папалекси рассмотрел возможность использования радиолокационного метода для астрономических измерений и оценил перспективы оптической локации Луны. С.М. Рытов вспоминал: «... Другая, совсем новая проблема, которая также особенно занимала Н.Д. в последние месяцы его жизни — это радиоизлучение Солнца и космического пространства. Н.Д. видел в этих явлениях основу для новой науки — радиоастрономии...» [436. С. 444].

Н.Д. Папалекси знал о внезапных наблюдениях радиоизлучения Солнца и о работах К. Янского и Г. Ребера. Ему пришла в голову идея провести наблюдение радиоизлучения Солнца во время его продолжительного полного затмения. Такое событие должно было произойти 20 мая 1947 г. в Бразилии. Бразильская экспедиция была организована Астрономическим советом АН СССР под общим руководством Н.Д. Папалекси. Предварительно он попросил В.Л. Гинзбурга определить условия отражения радиоволн различной длины от солнечной атмосферы.

В.Л. Гинзбург писал: «Разумеется, по сути дела это была типичная ионосферная

задача, все формулы были у меня под рукой. Результаты расчетов не казались особенно оптимистическими, поскольку для широкого набора параметров, которые тогда во многом оставались неизвестными (речь идет о концентрации электронов и температуре в короне и хромосфере), радиоволны должны были сильно поглощаться в короне или хромосфере и не доходить до уровня отражения... Но отсюда следовал более интересный вывод: источником солнечного радиоизлучения должна быть не фотосфера, а хромосфера и, для более длинных волн, корона [160. С. 118].

Результаты работы В.Л. Гинзбурга были напечатаны в журнале «ДАН» в 1946 г. К аналогичным выводам независимо и практически одновременно пришел И.С. Шкловский. Его статья была опубликована также в 1946 г. в «Астрономическом журнале». В ней И.С. Шкловский показал, что излучение в метровом диапазоне волн должно исходить из солнечной короны [7].

Ахиллесовой пятой радиоастрономии в тот период была низкая угловая разрешающая способность радиотелескопов, что не позволяло исследовать на Солнце области, составляющие даже минуты дуги. В связи с этим Н.Д. Папалекси предложил провести измерения радиоизлучения Солнца с помощью антенны с широкой (составляющей несколько градусов) диаграммой направленности, установленной на теплоходе. В процессе смены фаз затмения можно было «прокомпарировать» (сравнить) последовательно различные области солнечной атмосферы и экспериментально подтвердить справедливость гипотезы о корональном происхождении радиоизлучения Солнца в метровом диапазоне.

Для проведения радионаблюдений Солнца был необходим достаточно опытный и квалифицированный специалист. Им стал Б.М. Чихачев — ученик и сотрудник Н.Д. Папалекси по работе в ЦРЛ, один из пионеров отечественной радиоламповой промышленности. Однако в разгар подготовки бразильской экспедиции (февраль 1947 г.), Н.Д. Папалекси внезапно скончался. «Судьба задуманного эксперимента, и в некоторой мере всей экспедиции, повисла в воздухе. Но (и, видимо, в этом заключалась жизнеспособность научной школы) преемник Н.Д. Папалекси нашелся в недрах той же лаборатории» [446. С. 543]. Им стал С.Э. Хайкин.

Научная биография руководителя научной школы. Семен Эммануилович Хайкин (1901–1968 гг.) родился 8 августа 1901 г. в Минске в семье педагогов. Его отец, агроном по образованию, был основателем и директором Минского частного реального училища.

С.Э. Хайкин окончил его в 1918 г. В том же году он поступил в МВТУ и одновременно на Высшие электротехнические курсы.

В 1919 г. по окончании курсов С.Э. Хайкин добровольцем вступил в Красную Армию и до 1924 г. находился на военной службе — в различных частях и учреждениях связи РККА. В 1920 г. он принимал участие в боях на Западном фронте, будучи начальником полевой радиостанции. После демобилизации С.Э. Хайкин работал радиотехником и лаборантом. В 1924 г. он поступил в Московский университет, а в 1928 г. — окончил его физико-математический факультет. В течение короткого периода (1928–1930 гг.) С.Э. Хайкин был инженером в ЛФТИ и ВЭИ.



С.Э. Хайкин

В 1930 г. он поступил на работу в Московский университет, где был ассистентом, доцентом и заведующим кафедрами колебаний (1935–1938 гг.) и общей физики (1938–1946 гг.). В 1930–1931 гг. С.Э. Хайкин был ученым секретарем, в 1931–1933 гг. — заместителем директора НИИФ МГУ, а в 1934–1937 гг. — деканом физического факультета (вместо Б.М. Гессена, ушедшего на должность заместителя директора в ФИАН). В 1935 г. С.Э. Хайкин стал доктором физико-математических наук и профессором. В годы Великой Отечественной войны он продолжал заведовать кафедрой общей физики физического факультета МГУ. Наряду с большой административной и педагогической нагрузкой С.Э. Хайкину, благодаря его исключительно высокой трудоспособности, удавалось вести научные исследования.

Первые научные работы он выполнил на кафедре теоретической физики под руководством Л.И. Мандельштама. Они были посвящены измерениям декремента затуханий колебаний пьезокварцевой пластинки [492]. При определении декремента кварцевых резонаторов в различных условиях С.Э. Хайкиным был применен новый метод, позволивший установить зависимость затухания от давления окружающего газа.

Уже в этих ранних работах проявились особенности, характерные для многих его работ: изящная методика постановки и проведения экспериментов, выполнение кропотливых физических измерений на высокой частоте (процедуры по тому времени достаточно сложной), четкость формулировок и оценок полученных результатов, содержащих ценные для практической радиотехники сведения.

В первой половине 1930-х гг. в фокусе внимания научной школы Л.И.

Мандельштама — Н.Д. Папалекси находилась разработка теории нелинейных колебаний, в том числе, методов изучения автоколебаний. Именно поэтому исследования С.Э. Хайкина в этот период были посвящены теории автоколебаний и применению ее методов к решению различных радиофизических проблем. Работы велись им по двум направлениям:

1) исследование явления захватывания (принудительной синхронизации) при малых величинах внешнего воздействия;

2) теоретические и экспериментальные исследования релаксационных автоколебаний (например, в системах с сухим трением).

С.Э. Хайкиным было экспериментально установлено, что количественная связь между относительной полосой частот захватывания и относительной амплитудой воздействия совпадает с предсказаниями теории нелинейных колебаний [152]. При этом было показано, что относительная ширина полосы частот захватывания, на границе которой синхронизация исчезает и начинаются биения, пропорциональна отношению амплитуды сигнала к амплитуде автоколебаний. Этот факт позволил провести измерения напряженности внешнего поля по ширине полосы частот захватывания.

А.А. Витт и С.Э. Хайкин экспериментально подтвердили основные выводы математической теории захватывания. Благодаря этому оказалось возможным использовать явление захватывания для измерения полей малой напряженности. В результате был разработан метод измерения напряженности полей радиостанций [153]. Впоследствии результаты работ по захватыванию были перенесены в акустику. В 1931 г. К.Ф. Теодорчик и С.Э. Хайкин открыли явление акустического захватывания [464]. На его основе был предложен метод измерения интенсивности звуковых полей. Он был описан в статье К.Ф. Теодорчика и Е.Н. Секерской [463].

Отметим также работы С.Э. Хайкина по изучению механических релаксационных автоколебаний в системах с сухим трением. Им были рассмотрены системы, в которых при плавном изменении параметров возможны переходы от почти гармонических режимов генерации к разрывным колебаниям. В этот же период С.Э. Хайкин разработал теорию механических часов. Данная колебательная система обладает единственной стационарной амплитудой. Для того чтобы она установилась, системе необходимо сообщить начальный толчок конечной величины. Анализируя эту задачу, С.Э. Хайкин показал, что такая возможность реализуется только при наличии в системе постоянного

(по закону Кулона) трения и при постоянном приращении энергии при каждом толчке.

Скорее всего, решение задачи о часах с импульсным механизмом ввода энергии в систему привело его к исследованию автоколебательных систем, в которых осуществляются релаксационные (разрывные) колебания [505]. На основе условия скачка, сформулированного Л.И. Мандельштамом и Н.Д. Папалекси (см. § 4.2.1), С.Э. Хайкин проанализировал ряд релаксационных генераторов, в том числе механические колебательные устройства. Их описание приведено в статье С.Э. Хайкина и Н.Л. Кайдановского [501].

Наряду с работой в НИИФ МГУ С.Э. Хайкин с 1938 г. заведовал лабораторией ИТГ АН СССР. Работы, проводимые в ее стенах, носили закрытый характер, так как их результаты не были опубликованы. После начала Великой отечественной войны ИТГ был эвакуирован в Казань, но в октябре 1941 г. С.Э. Хайкин вернулся в Москву (вместе с М.А. Леонтовичем) и организовал филиал ИТГ.

Воспитанник научной школы С.Э. Хайкина Н.Л. Кайдановский писал: «С.Э. Хайкин предложил мне работать с ним, и я, разумеется, согласился. В его группу уже были набраны физики, ученики Семена Эммануиловича — Лошаков, Баршай, Красушкин, Яковлев, Малюженец, Разоренов и несколько инженеров. Через некоторое время к нам присоединился вышедший из окружения ополченец проф. Н.Н. Малов» [244. С. 11]. Исследователи работали в подвале физического факультета МГУ, опустевшего после эвакуации МГУ в Ашхабад и Казань. С.Э. Хайкин предложил осуществить оригинальную систему фазовой локации и навигации самолетов. В ее основе лежала идея засветки всего неба Москвы высокочастотным полем от генератора телецентра на Шаболовке. После этого планировалось осуществить прием рассеянного самолетами электромагнитного поля с помощью трехантенного (Т-образного) интерферометра. Точное направление на самолет можно было определить по фазам принимаемого сигнала с помощью пересчетного устройства.

К весне 1942 г. полевые работы были перенесены на полигон Института связи в Мытищах, а группа С.Э. Хайкина влилась в коллектив завода 465 НКЭП. В итоге была сформирована лаборатория фазовой локации. Но к 1944 г. стало ясно, что система фазовой локации уступает методам импульсной радиолокации.

С конца 1930-х гг. научные интересы С.Э. Хайкина сместились в область применения радиофизических методов к исследованию некоторых вопросов

молекулярной физики. В 1936 г. С.Э. Хайкин опубликовал статью «О механизме вязкости жидкостей» [496], а в 1939 г. — выступил с докладом «Исследование сил сухого трения» на Первой Всесоюзной конференции по трению. Кроме того, С.Э. Хайкин обнаружил явление перегрева твердого тела: монокристалл олова плавился с поверхности, в то время как по условиям опыта температура его внутренней части была выше точки плавления [500].

В конце 1945 г. С.Э. Хайкин перенес свою научную деятельность в ФИАН, где стал руководителем сектора радиоастрономии в лаборатории физики колебаний. Смена места работы была вызвана рядом причин. Во-первых, на его освобождение с поста декана факультета, безусловно, оказала влияние его близость с арестованным Б.М. Гессеном, у которого он был заместителем по управлению НИИФ МГУ. Во-вторых, в 1940 г. был опубликован учебник С.Э. Хайкина «Механика» [494] — первый том университетского курса общей физики, который создавался профессорами физического факультета. Книга получила широкую известность в нашей стране. Однако в годы борьбы с физическим идеализмом и космополитизмом она была подвергнута жесткой критике. Автора обвиняли в махизме и замалчивании роли отечественных ученых в развитии проблем механики. В сложившейся ситуации С.Э. Хайкин счел целесообразным покинуть физический факультет.

В ФИАН С.Э. Хайкин и его сотрудники продолжили довоенные радиофизические исследования свойств твердых тел и жидкостей. Они исследовали аномалию электронной эмиссии вольфрама, нагреваемого импульсом тока. С.Э. Хайкиным был предложен радиофизический метод изучения влияния быстрых изменений температуры и давления на сопротивление электролита и получены значения температурных коэффициентов и пьезокоэффициентов сопротивления раствора азотнокислого серебра [504].

Использование резонансных свойств пьезокварца позволило С.Э. Хайкину с сотрудниками провести серию работ по изучению взаимодействия трущихся твердых тел в области предварительного смещения. Исследуя особенности резонансных кривых пьезокварцевых резонаторов, соприкасающихся с твердыми пластинками, удалось установить консервативный и нелинейный характер сил взаимодействия при малых относительных смещениях (10^{-8} – 10^{-6} см). Позже аналогичным методом в области малых смещений был изучен электрический контакт [506].

После преждевременной кончины Н.Д. Папалекси С.Э. Хайкин возглавил подготовку и проведение Бразильской экспедиции. В ней планировалось провести оптические, радиоастрономические и ионосферные наблюдения. В экспедиции участвовали выдающиеся физики-теоретики — В.Л. Гинзбург, И.С. Шкловский, Я.Л. Альперт. В середине мая 1947 г. теплоход «Грибоедов» прибыл в залив Баии (Бразилия). Наблюдения затмения Солнца проводились на длине волны 1,5 м с помощью синфазной антенны, неподвижно закрепленной на палубе теплохода. Оборудование для наблюдения радиоизлучения на данной длине волны должно было иметь достаточно высокую чувствительность, так как интенсивность сигнала, в соответствии с теоретическим расчетом, могла в течение затмения уменьшиться более чем в 10 раз.

Для наблюдений нужна была антенна с большой приемной площадью, способная следить за Солнцем в течение периода затмения (около 3 ч). Также были необходимы широкополосный приемник с достаточно хорошим шум-фактором, выходные устройства, компенсирующие шумы приемника в отсутствие сигнала, выходной регистратор. После войны остались отечественные и зарубежные локаторы, имевшие необходимые параметры.

При этом возник вопрос о том, как осуществить сопровождение Солнца по азимуту во время затмения. А.Е. Саломонович писал: «С.Э. Хайкин решил эту проблему со свойственным ему остроумием: поворотным устройством стал сам теплоход. Впервые в истории флота команда травила и выбирала якорные цепи по указаниям профессора физики, и теплоход послушно разворачивался на якорях. Надежных самописцев в то время не было, поэтому в разных каютах были посажены наблюдатели, независимо друг от друга записывавшие показания стрелочных приборов» [448. С. 123].

Когда Луна полностью закрыла Солнце, мощность его радиоизлучения уменьшилась на 40 % и уже больше не изменялась. В день проведения наблюдений взаимное расположение Солнца, Луны и Земли было таким, что видимый с Земли диск Луны был на 5 % больше видимого диска Солнца. В связи с этим во время полной фазы затмения закрытым оказался не только яркий солнечный диск (фотосфера), но и хромосфера. Незакрытой осталась только солнечная корона. Отсюда следовал важный вывод: радиоизлучение исходит из солнечной короны.

Результаты исследований Бразильской экспедиции можно представить в виде графика (рис. 35п). Энергия радиоволн, излучаемых Солнцем, поступала в

радиоприемник, где усиливалась настолько, что приобретала характер шумов (их можно было слышать через громкоговоритель), а ее величина могла быть записана по показаниям электроизмерительного прибора, подключенного к выходу радиоприемника.

Сотрудники С.Э. Хайкина определили высоту над фотосферой тех слоев солнечной короны, из которых исходило наблюдаемое радиоизлучение. Она оказалась равной 0,35 радиуса Солнца, т. е. радиоволны излучают те слои солнечной короны, которые находятся на высоте около 250 000 км над фотосферой.

Кроме того, удалось изучить некоторые особенности, касающиеся распределения активных в радиодиапазоне областей по диску Солнца. Оказалось, что изменение мощности радиоизлучения Солнца соответствует закрытию и последующему появлению тех областей на Солнце, в которых расположены солнечные пятна, волокна, протуберанцы, наблюдаемые в оптическом диапазоне. Другими словами, радиоизлучающие области в короне Солнца связаны с этими активными образованиями.

Открытие явления радиоизлучения солнечной короны стало первым значительным достижением, полученным советскими учеными в области радиоастрономии. Здесь уместны слова И.С. Шкловского о том, что «ни в одной другой стране аналогичный эксперимент тогда не ставился. Приходится только удивляться, как в разрушенной и разоренной страшной войной стране могла быть организована такая довольно сложная и дорогостоящая экспедиция» [Цит. по: 226].

Результаты радиоастрономических исследований были опубликованы в статьях [493; 507]. Впоследствии открытие явления радиоизлучения солнечной короны было подтверждено в ходе многочисленных экспериментов. Из теории следовало, что радиоизлучающие слои солнечной короны должны быть расположены тем выше над фотосферой, чем больше длина волны радиоизлучения. Этот вывод был подтвержден при наблюдении Б.М. Чихачевым и В.В. Виткевичем полного солнечного затмения, которое произошло 28 февраля 1952 г. близ Ашхабада.

Несмотря на значительный успех, систематические исследования по радиоастрономии в СССР начались только в 1952 г. Это было связано с отсутствием необходимой измерительной техники для решения актуальных радиоастрономических задач. С.Э. Хайкин отчетливо понимал, что для развития радиоастрономии нужно, во-первых, воспитать коллектив единомышленников — радиофизиков, которых увлекла бы астрофизическая тематика, а, во-вторых, разработать инструментальную базу для

наблюдений — радиотелескопы и радиометры, работающие в различных диапазонах.

Для выполнения такой комплексной задачи требовались лаборатории, опытное производство, квалифицированный штат конструкторов-механиков и радиоинженеров. Гений С.Э. Хайкина проявился в том, что ему удалось найти такую радиофизическую проблему, которая имела бы как научное, так и прикладное значение. Ее выполнение позволило бы создать основу для постепенного перехода к фундаментальным исследованиям в области радиоастрономии.

В 1943 г. С.Э. Хайкин предложил Президиуму АН СССР программу работ по исследованию условий распространения радиоволн в диапазоне от 6 м до 3 см во всей толще земной атмосферы с использованием в качестве внеземных генераторов Солнца, Луны и некоторых дискретных источников радиоизлучения. Эта задача имела большое практическое значение для навигации космических ракет. При этом предполагалось изучить рефракцию, поглощение и рассеяние в тропосфере и ионосфере при различных углах места. Кроме того, должны были быть определены потоки излучения от различных источников, их угловые размеры и координаты.

Программа указанных работ была принята со сроком окончания к 1950 г. и предусматривала передачу ФИАН и НИРФИ ряда локационных станций¹⁰. На обеспечение экспедиционных работ были выделены штаты инженеров и техников, а также соответствующие денежные средства, материалы, оборудование.

С.Э. Хайкин, увлеченный новой тематикой, решил свернуть ведущиеся под его руководством работы по исследованию поверхностных явлений радиофизическими методами и сосредоточить усилия своего коллектива на изучение радиоастрономических задач. Это стало своевременным решением, так как наметилось серьезное отставание отечественных ученых в области радиоастрономии. К началу 1950-х гг. в Англии, Франции, Австралии и США были уже достигнуты значительные успехи в этом направлении.

Помимо своих прежних сотрудников А.Е. Саломоновича, Я.И. Лихтера и Н.Л. Кайдановского, С.Э. Хайкин принял в штат В.В. Виткевича, Б.Г. Горожанкина, Б.М. Чихачева, несколько радиоинженеров и техников. Основной базой исследований стала Крымская экспедиция ФИАН (ее начальником был А.Е. Саломонович), где до этого Н.Д.

¹⁰ Постановление подписал И.В. Сталин, что предполагало тяжелую ответственность в случае неудачи.

Папалекси и Е.Я. Щеголев проводили опыты по проверке радиоинтерференционных методов (см. главу 4). В состав КЭ входили Алушкинский отряд на г. Кошка и Алуштинский отряд, расположенный в так называемом Рабочем уголке Алушты. В КЭ были направлены Р.Л. Сороченко, Ф.В. Бункин, Н.В. Карлов, В.Г. Веселаго, Т.А. Шмаонов, Н.Ф. Рыжков, Т.М. Егорова и др.

Именно на г. Кошка, где сосредоточилась основная часть КЭ, были созданы первые крупные отечественные радиотелескопы. Их основой стали радиолокаторы времен Второй Отечественной войны, которые были переданы ФИАН для осуществления программы С.Э. Хайкина. Отсутствие готового оборудования и апробированной методики измерений, недостаток опыта у молодых сотрудников, чрезвычайно короткий срок для завершения работ (менее двух лет) и трудности экспедиционного быта делали эту работу крайне напряженной. Несмотря на это, она была выполнена в срок.

Большую роль в формировании интереса участников КЭ к радиоастрономическим вопросам сыграл И.С. Шкловский. Не поощряя прикладные работы, проводимые сотрудниками С.Э. Хайкина, он уделял внимание разработке радиоастрономических методов, планируя применить их для решения чисто астрофизических задач. Вместе с С.Б. Пикельнером И.С. Шкловский часто посещал радиоастрономическую станцию на г. Кошка, а иногда приезжал и в Алуштинский отряд.

Н.Л. Кайдановский писал: «Незабываемо яркое впечатление осталось у меня от страстной и глубоко насыщенной, многочасовой лекции Иосифа Самуиловича, посвященной результатам мировых радиоастрономических достижений и новым астрофизическим задачам, которую он прочел для сотрудников нашей экспедиции... Эта лекция не сделала нас, “технарей”, астрономами и все же стала для многих поворотным пунктом в нашей научной судьбе. К прежним научным интересам мы уже не вернулись, а были увлечены мощным течением развивающейся отечественной радиоастрономии» [Цит. по: 243].

Однако усилия И.С. Шкловского использовать разработанную в рамках КЭ радиоастрономическую технику для решения астрофизических задач оказались безуспешными. Одна из причин состояла в том, что технические характеристики радиотелескопов были еще недостаточны для этих целей.

Для измерений на метровых волнах применялись антенны, представляющие

собой большие дипольные решетки, для диапазона длин волн короче 2 м реконструировались антенны полученных РЛС, более длинноволновые антенны строились силами участников КЭ. Для длин волн 3 и 10 см нужны были антенны с параболическими зеркалами (с диаметрами порядка 3 и 10 м), смонтированные на опорно-поворотных устройствах. В то время отечественная промышленность таких антенн не производила. Имевшиеся в СССР зарубежные локационные станции сантиметрового диапазона имели зеркала с диаметром порядка 1 м.

К счастью, в Москве были найдены два локатора с зеркалами диаметром 3 м и ферма от зеркала диаметром 7,5 м, а в Ленинграде — поворотное устройство к ней. Это оборудование было разукomплектовано и повреждено. В январе 1949 г. удалось собрать этот металлолом во дворе ФИАН в Москве. Вскоре началась реконструкция антенн. При этом необходимо было добиться точности в 10 раз лучшей точности исходных антенн. Для этой работы была организована группа под руководством А.Е. Саломоновича, Н.Л. Кайдановского и инженера-конструктора П.Д. Калачева. В чрезвычайно короткий срок был сконструирован механизм поворотного устройства радиотелескопа диаметром 7,5 м. Сложной задачей оказалось изготовление отражающей поверхности такого радиотелескопа. При ее решении удалось разработать технологию изготовления и контроля поверхностей больших и точных параболических отражателей. Впоследствии она стала основой при разработке А.Е. Саломоновичем и П.Д. Калачевым уникальных радиотелескопов (например, радиотелескопа РТ-22).

Первый крымский радиотелескоп ФИАН был запущен в 1949 г. (рис. 36п). На нем проводились исследования радиоизлучения активных областей Солнца на длине волны 1,5 м. Параллельно с реконструкцией и монтажом радиотелескопов шла разработка и наладка комплекта радиометров. Все радиотелескопы КЭ (и НИРФИ) были подготовлены к исследованию условий распространения радиоволн в 1949 г.

В результате были изучены особенности рефракции, рассеяния и поглощения радиоволн во всей толще земной атмосферы в диапазоне длин волн от 3 м до 3 см. В частности, была составлена таблица рефракции в зависимости от угла места и наклонной дальности. Кроме того, были сформулированы рекомендации относительно учета метеоусловий, суточного и сезонного хода измеренных величин.

Успех КЭ был обусловлен умелым руководством С.Э. Хайкина, способностью А.Е. Саломоновича (начальника экспедиции) эффективно организовать работы,

самоотверженностью всего коллектива. Полученные результаты были высоко оценены комиссией Совета Министров.

Помимо КЭ под Горьким работала группа НИРФИ под руководством Г.С. Горелика и В.С. Троицкого. В 1947 г. В.С. Троицким был создан первый модуляционный радиометр на длину волны 4 м, а И.Л. Берштейном — радиометр на длину волны 10 см. В 1948 г. был разработан радиометр, работающий на длине волны 1,5 м. На основе теории модуляционных радиометров были сконструированы весьма совершенные для того времени радиометры сантиметрового и метрового диапазонов. Исследования велись в тесном контакте с работами, начатыми в ФИАН.

В 1949 г. около деревни Зименки был организован радиоастрономический полигон, где были, в частности, установлены радиотелескопы на длины волн 1,5 м и 3 см. С их помощью проводились измерения радиоизлучения Солнца, а также наиболее ярких дискретных космических источников.

Новые радиоастрономические задачи потребовали увеличения диаметра антенн и чувствительности радиометров. В связи с этим П.Д. Калачевым была спроектирована конструкция параболической антенны диаметром 4 м с зеркалом высокой точности. Одновременно были разработаны широкополосные радиометры сантиметрового диапазона повышенной чувствительности. Новые радиотелескопы были установлены и использованы в Калужской экспедиции ФИАН, на г. Кошка в Крыму и на радиоастрономической станции Зименки.

В начале 1950-х гг. была существенно расширена экспериментальная база советской радиоастрономии. По инициативе В.В. Виткевича возглавляемая им с 1952 г. Крымская радиоастрономическая станция, была перебазирована с г. Кошка в поселок Голубой залив. Здесь были построены синфазные и параболические антенны, интерферометры метрового и дециметрового диапазонов, оригинальные спектрографы, аппаратура для проведения солнечных и галактических измерений. В частности, были разработаны 2 полноповоротных радиотелескопа В-3 в виде усеченных параболоидов, конструкция которых была предложена П.Д. Калачевым. Один из радиотелескопов В-3 был предназначен для наблюдений линии водорода на длине волны 21 см.

В 1950-х гг. сотрудники КЭ под руководством В.В. Виткевича занимались, в основном, исследованиями радиоизлучения Солнца. Для этих целей использовался второй телескоп В-3 и радиотелескоп РТ-31, выполненный в виде земляной чаши. В

результате работ было сооружено наклонно расположенное, неподвижное параболическое зеркало диаметром 31 м. Его бетонная поверхность была металлизирована, а вблизи фокуса на ферме укреплена подвижная площадка для радиоприемников.

На этом радиотелескопе в 1957 г. впервые в СССР удалось получить двухмерное радиоизображение Солнца на длине волны 3 см, а несколько позже А.Д. Кузьминым и В.А. Удальцовым было обнаружено поляризованное излучение Крабовидной туманности на дециметровых волнах. Это открытие подтвердило синхротронную природу радиоизлучения этого остатка вспышки сверхновой.

Б.М. Чихачевым было выполнено исследование активных областей на Солнце в метровом диапазоне, а В.В. Виткевич провел наблюдения радиоизлучения спокойного и слабозмущенного Солнца. К этому периоду относится высказанная им идея метода просвечивания солнечной короны радиоизлучением дискретного источника (Крабовидной туманности), а затем и открытие протяженной внешней короны Солнца — «сверхкороны» [151].

Ежегодно происходит сближение этой туманности с Солнцем до расстояния в 4,5 радиуса Солнца, так называемое затмение «Краба». Наблюдая в это время изменения его радиоизлучения, можно получить сведения о параметрах короны Солнца¹¹. Для ослабления радиоизлучения самого Солнца В.В. Виткевич предложил интерференционный метод приема с базами интерферометра, подобранными таким образом, чтобы ширина интерференционного лепестка оказывалась меньше углового размера Солнца, но больше размеров «Краба. Исходя из этих соображений, были созданы интерферометры метрового диапазона, с помощью которых было установлено, что корона Солнца простирается до нескольких десятков его радиусов, почти до орбиты Меркурия. За открытие сверхкороны Солнца В.В. Виткевичу в 1968 г. была присуждена Государственная премия СССР.

Таким образом, в 1950-х гг. Крымская радиоастрономическая станция была

¹¹ Методом просвечивания с различными интерференционными базами и на разных длинах волн метрового диапазона были обнаружены и изучены неоднородности внешней короны, ее поляризационные характеристики, особенности корпускулярного излучения Солнца, явления мерцаний, солнечного ветра и т. д. Эти исследования проводились В.В. Виткевичем и его сотрудниками — Б.Н. Нановкиным, Н.А. Лотовой, В.И. Шишовой, Р.Д. Дагкесаманским и др.

крупнейшим центром экспериментальных радиоастрономических исследований в СССР. Впоследствии они были переведены из Крыма в Пушино (Московская область). Коллектив под руководством В.В. Виткевича создал в 1956 г. Радиоастрономическую станцию ФИАН. В 1990 г. она вошла в состав АКЦ ФИАН.

В 1996 г. Пушинская радиоастрономическая станция была переименована в обсерваторию, получив нынешнюю аббревиатуру — ПРАО АКЦ ФИАН. Материально-техническая база ПРАО ФИАН включает в себя три уникальных радиоастрономических комплекса¹².

- Радиотелескоп РТ-22 ФИАН (1959 г.) — это параболический рефлектор, главное зеркало которого имеет диаметр 22 м. Точность поверхности главного зеркала обеспечивает эффективную работу радиотелескопа на коротких волнах сантиметрового и даже миллиметрового диапазонов. Наблюдения на этом радиотелескопе проводятся с использованием современных охлаждаемых малошумящих усилителей. Основные научные программы — это исследование областей звездообразования по наблюдениям атомарных и молекулярных радиолиний, а также изучение структуры компактных радиоисточников методами интерферометрии с разрешением в сотые и тысячные доли секунды дуги.

- Диапазонный крестообразный радиотелескоп ДКР-1000 (1964 г.) — меридианный инструмент, состоящий из двух антенн — «Восток-Запад» и «Север-Юг». Каждая из этих антенн представляет собой параболический цилиндр шириной 40 м и длиной 1 км. Вдоль фокальных линий обеих антенн расположены широкодиапазонные облучатели, позволяющие вести наблюдения на длинах волн от 2,5 до 10 м. На радиотелескопе ДКР-1000 проводятся исследования пульсаров, наблюдения спектральных радиолиний, соответствующих переходам между уровнями с главными квантовыми числами около 750, изучаются вариации плотностей потоков радиоисточников.

- Радиотелескоп БСА (Большая сканирующая антенна) ФИАН (1974 г.) — это антенная решетка, состоящая из 16 384 вибраторов, которые расположены на площади, превышающей 7 га. Рабочая длина волны радиотелескопа составляет 3 м, в этом

¹² История создания этой экспериментальной базы ПРАО, основные направления исследований и некоторые достижения ее научного коллектива подробно рассмотрены Р.Д. Дагкесаманским [201] и Ю.П. Илясовым [231].

диапазоне БСА является самым чувствительным телескопом в мире. БСА ФИАН — это незаменимый инструмент для решения целого ряда задач в области исследования пульсаров, изучения динамических процессов в околосолнечной и межпланетной плазме, анализа структуры компактных радиоисточников в метровом диапазоне волн.

Вернемся к обсуждению научной деятельности С.Э. Хайкина. В начале 1950-х гг. интересы большинства радиоастрономов были сосредоточены на радиоволнах метрового диапазона. В нем можно было сравнительно скромными техническими средствами получить важные результаты при исследовании радиоизлучения Солнца, межпланетной плазмы, галактической среды и некоторых туманностей. Но наблюдениям в этом диапазоне далеких и слабых космических источников препятствует высокий уровень естественных помех, связанных с земной атмосферой, межпланетным и межзвездным газом. Кроме того, в метровом диапазоне нельзя детально исследовать изображение источников радиоизлучения и определить их точные координаты, чтобы отождествить их с оптическими объектами.

По этим причинам С.Э. Хайкин направил усилия радиоастрономов на освоение диапазона сантиметровых волн, в котором естественные помехи минимальны. Как следствие, можно было ожидать обнаружения новых слабых и далеких источников радиоизлучения. Однако для освоения этого диапазона требовалось решить сложные технические задачи. Например, размеры и точность отражающих поверхностей радиотелескопов были не удовлетворительными.

После окончания работ по исследованию распространения радиоволн коллектив сотрудников КЭ стал распадаться на две группы. «Молодой, энергичный и талантливый В.В. Виткевич возглавил ту его часть, которая тяготела к астрофизической тематике. Эти задачи можно было решать на существующем и освоенном оборудовании в метровом диапазоне, и делать это быстро. С.Э. Хайкин видел перспективу радиоастрономических наблюдений в см и дм диапазонах, где Галактика прозрачна и можно получить высокую разрешающую способность даже при не слишком больших апертурах антенн» [244. С. 19].

Таким образом, между С.Э. Хайкиным и В.В. Виткевичем произошел конфликт интересов¹³. Помимо этого, в ФИАН по доносу, инспирированному приближенными

¹³ Подобные ситуации не редки в истории науки. Вспомним «войну токов» — противостояние Т. Эдисона и Н. Теслы за использование постоянного и переменного тока. В качестве примера

В.В. Виткевича, С.Э. Хайкин получил выговор за якобы нарушение режима секретности в КЭ. В сложившейся ситуации он был вынужден уйти из ФИАН.

В 1953 г. С.Э. Хайкин создал отдел радиоастрономии в ГАО в Пулково. В Ленинграде радиоастрономические работы до этого проводились А.П. Молчановым — аспирантом кафедры радиофизики ЛГУ. В 1948–1949 гг. он предложил использовать радиоизлучение Солнца для антенных измерений и для целей навигации. А.П. Молчанов стал одним из первых сотрудников С.Э. Хайкина в Пулково. Ядро его отдела радиоастрономии составили Н.Л. Кайдановский, Н.Ф. Рыжков, Т.М. Егорова, перешедшие сюда из ФИАН, Ю.Н. Парийский и Н.С. Соболева (выпускники МГУ), Г.Б. Гельфрейх, Н.А. Есепкина Д.В. Корольков, В.Н. Ихсанова, К.Г. Бутузова.

Сложность построения очень больших и точных антенн для проведения радиоастрономических наблюдений в сантиметровом и миллиметровом диапазонах должна была быть преодолена путем отказа от традиционной конструкции радиотелескопа со сплошным параболическим рефлектором. По предложению С.Э. Хайкина и Н.Л. Кайдановского отражающая поверхность нового радиотелескопа должна быть расчленена на ряд небольших плоских элементов. Их следует устанавливать таким образом, чтобы сформировать поверхность, собирающую в фокус радиоизлучение от космического источника. Для наблюдений в разных направлениях профиль отражающей поверхности должен был изменяться, поэтому новый радиотелескоп получил название антенны переменного профиля (АПП). Их конструктивные преимущества заключаются в том, что при создании АПП возможно серийное производство отражающих элементов и их постепенный монтаж.

В 1956 г. под руководством С.Э. Хайкина и Н.Л. Кайдановского был сооружен БПР [502], ставший первым в мире телескопом с АПП (рис. 37п). 120-метровое зеркало БПР состоит из 90 плоских отражательных щитов, каждый размером 3,5 м x 1,5 м, и облучателя. Щиты расположены полукругом, они могут поворачиваться (изменять наклон) для настройки в зависимости от времени года. Отраженное от щитов излучение

можно привести также конфликт интересов, возникший в НРЛ между М.А. Бонч-Бруевичем и В.П. Вологдиным. Спор велся по поводу техники генерации электромагнитных волн. В.П. Вологдин был сторонником строительства мощных машин высокой частоты для этой цели, а М.А. Бонч-Бруевич считал наиболее перспективным разработку схем генерации на основе электровакуумных ламп.

собирается в центре полукруга на облучателе, откуда детектированный сигнал по кабелю попадает в САО, где осуществляется запись и обработка полученной информации. Пространственное разрешение БПР достигает 1 угловой минуты на длине волны 3 см. К научным результатам, полученным с помощью этого радиотелескопа сотрудниками С.Э. Хайкина, следует отнести:

- детальное изучение радиопятен, вспышек и распределения яркости спокойного Солнца (Г.Б. Гельфрейх, В.И. Ихсанова и др.);
- обнаружение и исследование поляризации радиоизлучения Луны, что позволило измерить диэлектрическую проницаемость поверхности и оценить «шероховатость» ее покрова (Н.С. Соболева);
- измерения координат галактических и внегалактических радиоисточников (обнаружено, что более 40 % ярких источников в сантиметровом диапазоне имеют квазизвездную природу), исследование их структуры и поляризации (Ю.Н. Парийский, Н.С. Соболева и др.);
- исследование тонкой структуры некоторых областей Галактики на линиях 21 и 18 см, соответствующих излучению нейтрального водорода и гидроксила (Н.Ф. Рыжков, Т.М. Егорова, Н.В. Быстрова и др.);
- обнаружение и изучение сильной круговой поляризации излучения активных областей Солнца, линейной поляризации теплового радиоизлучения Луны в сантиметровом диапазоне;
- исследование распределения радиояркости по диску Венеры, структуры мощных радиационных поясов Юпитера, структуры и поляризации сложных внегалактических источников;
- оценка температуры, состава и давления атмосферы Венеры;
- составление первого в мире детального морфологического каталога галактических источников радиоизлучения и др.

На БПР помимо астрофизических исследований проводилась радиолокация спутников и ракетносителей. По мере расширения астрофизической программы, все большую роль в жизни отдела радиоастрономии ГАО начали играть астрофизики Ю.Н. Парийский, Н.С. Соболева, И.В. Госачинский и Г.Б. Гельфрейх.

После запуска БПР отдел радиоастрономии С.Э. Хайкина планировал использовать полученный опыт для создания радиотелескопа гораздо большего размера

(как для астрофизических исследований, так и для космической связи). Под руководством С.Э. Хайкина был разработан предварительный проект антенны диаметром 2 км. Он предлагал организациям, связанным с космическими программами и, в первую очередь, АН СССР, спроектировать АПП для связи с космическими объектами. Несмотря на просьбу С.Э. Хайкина доложить об этом проекте президенту АН СССР М.В. Келдышу, тот его не принял.

В 1959–1960 гг. С.Э. Хайкину удалось заинтересовать этим проектом сотрудников НИИ приборостроения (главным конструктором был член-корреспондент АН СССР М.С. Рязанский). Ими было начато проектирование антенны типа АПП диаметром 3 км, получившая название «Заповедник». Дело дошло до выбора площадки для сооружения будущего телескопа и создания рабочих чертежей, однако проект был приостановлен.

Тем не менее, работа по проектированию больших АПП («Заповедник», «Юпитер») не пропала даром. По инициативе сотрудника МГУ и ИКИ Н.С. Кардашева в 1965 г. было выдвинуто предложение о разработке нового радиотелескопа типа АПП диаметром 600 м. Оно было принято М.В. Келдышем. Строительство должна была возглавить Пулковская обсерватория [503; 394]. Научным руководителем по новому радиотелескопу, названному РАТАН-600 (рис. 38п), был назначен Ю.Н. Парийский, а главным конструктором — Н.Л. Кайдановский.

РАТАН-600 расположен в Карачаево-Черкесии недалеко от станции Зеленчукская (Северный Кавказ) на высоте 970 м над уровнем моря. Телескоп состоит из 895 прямоугольных отражающих элементов размерами 11,4 м х 2 м, расположенных по кругу с диаметром 576 м. В свою очередь, круг разделен на 4 сектора по сторонам света. Отражающие элементы каждого сектора фокусируются на приемнике излучения (так называемом «облучателе»), охлаждаемом жидким азотом и плавающим на противовибрационной платформе в метровом бассейне жидкой ртути. В основу конструкции РАТАН-600 была положена идея С.Э. Хайкина и Н.Л. Кайдановского (они же участвовали в разработке его проекта), предложивших АПП для проведения радиоастрономических исследований.

Технический проект РАТАН-600 был закончен в 1967 г., а первая очередь (северный сектор) был введен в эксплуатацию в 1974 г. С помощью РАТАН-600 было изучено радиоизлучение большинства планет Солнечной системы, обнаружено предельно слабое излучение радиоструктуры Солнца («радиогрануляция»). В настоящее

время с помощью этого радиотелескопа проводятся исследования переменности радиоизлучения микровязаров, структуры излучения межзвездной среды в нашей Галактике, мазерных источников в линиях воды на длине волны 1,35 см, оболочек сверхновых и линии нейтрального водорода на длине волны 21 см, радиообъектов на космологических масштабах и на ранних стадиях формирования Вселенной.

К сожалению, С.Э. Хайкин не стал свидетелем этих открытий. Будучи уже тяжело больным, он в 1967 г. ушел на пенсию. 30 июня 1968 г. С.Э. Хайкин скончался. Отметим, что он принимал активное участие в организации отечественной науки. С.Э. Хайкин был председателем Комиссии по радиоастрономии Астрономического Совета АН СССР, впоследствии — членом бюро Совета по комплексной проблеме «Радиоастрономия» АН СССР. Он уделял значительное внимание редакционно-издательской деятельности: долгое время состоял в редколлегиях журналов «Радиотехника», «Астрономический журнал». С.Э. Хайкин был автором и редактором научно-популярных книг и статей по радиофизике и механике [497; 499; 495].

Проявляя заботу об уровне преподавания физики в средней школе, С.Э. Хайкин написал раздел «Механика» в известном «Элементарном учебнике физики» [302]. С.Э. Хайкин с большим успехом справлялся с самыми разнообразными задачами — от практических вопросов техники измерений до анализа тонких вопросов теории, всегда находя оригинальные решения. В последние годы своей жизни он любил повторять следующие слова: «Главное наше богатство — умение овладеть своим временем» [323. С. 46]. На наш взгляд, С.Э. Хайкин им обладал.

Становление научной школы. Для успешного развития радиоастрономии в нашей стране требовалось создать эффективную инструментальную базу для проведения наблюдений. Именно С.Э. Хайкин возглавил работы по проектированию, разработке и введению в эксплуатацию новых радиотелескопов, радиометров и другой радиоастрономической аппаратуры. Конечно, такая масштабная задача не могла быть решена им в одиночку, без привлечения к исследованиям сотрудников и учеников. Талант организатора С.Э. Хайкина позволил ему не только собрать группу единомышленников (прежде всего, радиофизиков), но и увлечь их новой тематикой. Тем самым, сложились определенные предпосылки для формирования его научной школы. Рассмотрим основные факторы, сыгравшие важную роль в этом процессе.

Во-первых, следует отметить особый подход С.Э. Хайкина к проведению

исследований. Он всегда подчеркивал, что в задачу ученого входит не только экспериментальная проверка предварительного теоретического расчета, но, прежде всего, — физический анализ допустимости и целесообразности использования упрощенной схемы явления. Другими словами, С.Э. Хайкин акцентировал внимание на выборе оптимальной модели рассматриваемого явления или процесса. Этому аспекту научно-исследовательской деятельности он учил и аспирантов Л.И. Мандельштама и Н.Д. Папалекси. Например, данная особенность проявилась при изучении автоколебательных систем и разработке методов теории нелинейных колебаний. В частности, выполненные С.Э. Хайкиным и его учеником Н.Л. Кайдановским работы, сыграли важную роль в методологии изучения автоколебательных процессов релаксационного типа.

Во-вторых, большая часть научных результатов, полученных С.Э. Хайкиным в области автоколебаний, вошла в книгу «Теория колебаний. Часть I» (1937 г.) [45]. В историко-научном исследовании мы неоднократно подчеркивали ценность данной книги для формирования у будущих ученых «нелинейного стиля мышления». Таким образом, С.Э. Хайкин как один из ее авторов внес весомый вклад в подготовку специалистов в области теории колебаний, радиофизики, теории автоматического регулирования и т. п.

В-третьих, формирование С.Э. Хайкина как первоклассного ученого-радиофизика происходило под непосредственным руководством Л.И. Мандельштама. Л.И. Мандельштам относился с большим уважением к С.Э. Хайкину, он ценил в нем незаурядные способности экспериментатора, стремление к тщательному изучению каждого физического явления и процесса. В свою очередь, С.Э. Хайкин считал предметом гордости свою принадлежность к научной школе Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси. В разговорах с коллегами и учениками он часто подчеркивал высокие профессиональные и человеческие качества своего учителя.

В архивах РАН удалось найти письмо С.Э. Хайкина Л.И. Мандельштаму, в котором он рассказывает ему о работе над фазовой локацией самолетов. Приведем небольшой фрагмент из этого письма, характеризующий их взаимоотношения. «Идея метода, который мы разрабатываем, пришла мне в голову уже после Вашего отъезда, поэтому я Вам ничего о нем не говорил. Но это очень близко к тому, чем занимались Вы с Н.Д. и что делали летом. Мне бы очень хотелось рассказать Вам обо всем и с Вами

посоветоваться. Несколько раз мы с Мих. Ал-чем особенно остро ощущали потребность в этом, т. к. натыкались на вещи, в которых не могли разобраться. Правда, в конце концов, мы разобрались во всем, но если бы Вы были здесь, нам бы это далось гораздо легче» [47. Л. 1, 1об].

Итак, С.Э. Хайкин, опираясь на исследования Л.И. Мандельштама и Н.Д. Папалекси по созданию радиоинтерференционных методов, предложил оригинальный метод локации воздушных целей. Это лишь один из многочисленных примеров влияния исследовательской программы научной школы Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси на последующие работы. С.Э. Хайкин, несмотря на тяжелые условия Великой отечественной войны (в частности, эвакуацию и невозможность личных встреч), ощущал необходимость в общении со своим учителем и в его советах.

В-четвертых, после того как была успешно проведена Бразильская экспедиция и получен важный научный результат (открытие явления радиоизлучения солнечной короны в метровом диапазоне), С.Э. Хайкин организовал КЭ для дальнейшего развития экспериментальной радиоастрономии. Один ее участников Н.В. Карлов вспоминал: «Семен Эммануилович Хайкин, появляясь, время от времени в Крыму, учинял для нас семинары, которые имели место в штаб-квартире экспедиции, на Севастопольском, 35. Он просто и доходчиво рассказывал нам об инструментальных особенностях радиотелескопов в их сравнении с оптическими телескопами» [223. С. 368].

Тем самым, оказывая научное и педагогическое влияние на своих учеников, С.Э. Хайкину удалось сформировать коллектив радиоастрономов. Это была нетривиальная задача. Дело в том, что его молодые сотрудники (В.В. Виткевич, Я.И. Лихтер, Н.Л. Кайдановский и др.) по специальности были радиофизиками. Изначально они не интересовались радиоастрономическими исследованиями. Н.Л. Кайдановский писал: «за радиоастрономию мы взялись, глазным образом, в порядке выручки своего “учителя” — С.Э. Хайкина, который был назначен руководителем работ по прикладным применениям радиоастрономии, предполагая, что после их окончания мы сможем вернуться к нашим основным задачам в лаборатории колебаний ФИАН» [Цит. по: 243].

Но, как показывает история, к ним они уже не вернулись. Впоследствии многие ученики С.Э. Хайкина стали выдающимися специалистами в области теоретической и прикладной радиоастрономии. Более того, оценив перспективность проведения астрофизических исследований в сантиметровом и миллиметровом диапазонах, он

сумел увлечь этой тематикой своих сотрудников и организовать отдел радиоастрономии в Пулковской обсерватории. В результате ими были спроектированы и созданы радиотелескопы нового типа, с помощью которых удалось сделать ряд важных открытий.

Исследовательская программа научной школы. С.Э. Хайкин вместе со своими сотрудниками выполнили исследования в области теории нелинейных колебаний, акустики, молекулярной физики (изучение состояния и структуры вещества радиофизическими методами), фазовой локации и навигации самолетов. Но магистральное направление деятельности научной школы С.Э. Хайкина было связано с экспериментальной радиоастрономией.

Ее исследовательскую программу можно сформулировать следующим образом. **Разработка радиоастрономической аппаратуры и методов, проектирование и конструирование радиотелескопов для проведения астрономических наблюдений и исследований в сантиметровом и миллиметровом диапазонах.**

Исследовательская программа научной школы С.Э. Хайкина претерпевала изменения в связи с решением возникающих задач (от исследований по распространению радиоволн и созданию первых радиотелескопов до проектирования АПП). Эту эволюцию можно проследить по описанию результатов научной деятельности и публикациям С.Э. Хайкина и его сотрудников.

Стиль руководства в научной школе. Наряду с научной работой С.Э. Хайкин активно занимался педагогической деятельностью. В руководимой им лаборатории колебаний НИИФ работали многие ученики Л.И. Мандельштама и Н.Д. Папалекси:

- аспирант С.П. Стрелков описывал поведение маятника Фроуда (механического аналога генератора автоколебаний с почти гармонической формой);
- аспирант С.М. Рытов рассматривал различные виды модуляций колебаний;
- аспирант Г.С. Горелик исследовал автопараметрическое возбуждение системы с двумя степенями свободы (аналогом колебаний молекулы CO_2);
- аспирантка Е.Н. Секерская изучала явление захватывания при жестком режиме;
- дипломант Н.Л. Кайдановский исследовал механические колебания, возникающие при сухом трении.

А.А. Витт занимался определением условий возникновения автоколебаний в распределенных системах. Все возглавляемые С.Э. Хайкиным работы проводились при

поддержке Л.И. Мандельштама, который «часто бывал в лаборатории и обращал внимание работающих на тонкие эффекты, могущие сопутствовать изучаемым явлениям, и на способы устранения их влияния» [244. С. 9].

Курс лекций по теории колебаний, прочитанный Л.И. Мандельштамом в 1930–1931 гг. на физическом факультете МГУ, вызвал живой интерес со стороны физиков, радиоинженеров, профессоров и даже академиков всей Москвы. Один из слушателей этих лекций Н.Л. Кайдановский вспоминал: «Не понимая лекций по “теории колебаний”, студенты обратились в деканат с требованием организовать семинарские занятия по этому курсу. Руководителем семинара был назначен А.А. Витт. Блестящий математик, А.А. Витт даже не мог понять наши студенческие претензии. Лекции Л.И. Мандельштама казались ему еще недостаточно полными, и он дополнял их новым материалом, теориями, которые его увлекали. К тому же А.А. Витт был очень немногословен и косноязычен. Он нас окончательно запутал, и мы потребовали его замены» [Там же. С. 7].

На смену А.А. Витту пришел С.Э. Хайкин. «Когда С.Э. Хайкин стал руководителем семинара, у нас, студентов, открылись глаза и мы, наконец, стали понимать и усваивать лекции Л.И. Мандельштама» [Там же]. Успех С.Э. Хайкина был обусловлен не только его глубоким знанием материала лекций, но и несомненным педагогическим мастерством. С 1934 по 1947 гг. он читал общий курс физики на физическом факультете МГУ. С первых же занятий С.Э. Хайкин стал одним из самых популярных лекторов этого университета. Его лекции отличались глубиной и оригинальностью подхода к изучению принципиально важных физических вопросов.

Таким образом, С.Э. Хайкин играл важную роль в воспитании сотрудников Л.И. Мандельштама и Н.Д. Папалекси. Многие из них стали известными учеными-радиофизиками и инженерами.

Одновременно с работой в Московском университете С.Э. Хайкин по совместительству вел научную и педагогическую работу и в других учреждениях. Он заведовал кафедрой теоретической радиотехники в МИИС, был заведующим радиоакустической лабораторией НИИ АН СССР и др. С.Э. Хайкин читал курсы по теории колебаний и теоретической радиотехнике в МИИС, оказавшие значительное влияние на формирование будущих радиотехников.

Особое значение для развития курса общей физики имело чтение С.Э. Хайкиным

лекций по механике. Он обновил физическое содержание многих разделов традиционного курса механики. Это относится, прежде всего, к объяснению основ динамики, элементарной теории гироскопов, гидродинамики, к изучению сил инерции и законов трения. Прежний формальный перенос этих вопросов из учебников теоретической механики в курс общей физики сменился живым и образным изложением практически без использования сложного математического аппарата.

Кроме того, изучение материала на лекциях С.Э. Хайкина подкреплялось разработанными им демонстрациями. В них впервые показывались такие (до тех пор «запретные» для вузовских лекций) явления, как, приливные волны или действие силы Кориолиса на текущую жидкость. Отметим, что по предложению С.Э. Хайкина в физическом кабинете МГУ было создано множество лекционных демонстраций.

Его лекционные материалы были положены в основу учебников «Механика» и «Электричество» (последняя книга не была напечатана). Д.И. Блохинцев в рецензии на книгу С.Э. Хайкина «Что такое силы инерции (физическое введение в механику)» отмечал: «Продолжая традицию своего учителя Л.И. Мандельштама, автора классических сборников лекций по физике, профессор Хайкин считал необходимым в своей педагогической работе не просто излагать материал, но и предвосхищать возможное недопонимание у своих учеников, связанное с отсутствием проникновения в суть вопроса. С этой целью он не жалел ни времени, ни объема текста, чтобы сделать свои книги очень насыщенными и придать своим утверждениям характер большой конкретности» [Цит. по: 108].

Выпускник физического факультета МГУ Б.М. Болотовский вспоминал: «В первый год мы прослушали курс лекций Хайкина. Это прекрасный лектор по механике. И он, когда читал лекции по механике, то он как-то закладывал основы понимания всего последующего курса физики, не только механики... Прекрасно читал Хайкин механику, и это было больше, чем механика, потому что он посвящал несколько первых лекций вообще специфике работы физика. И мне запомнились его рассуждения о том, что физик не может работать с реальным объектом, а обязательно должен его как-то идеализировать» [230. С. 273].

Учебник С.Э. Хайкина «Механика» выдержал несколько издания (первое вышло в 1940 г.). Над совершенствованием этой книги он продолжал работать свыше 30 лет. Последнее издание значительно расширенного курса под названием «Физические

основы механики» было опубликовано в 1963 г. [498] Эта книга обладала рядом достоинств. Во-первых, в ней впервые в рамках учебника по общему курсу физики было приведено глубокое физическое изложение основ специальной теории относительности. Во-вторых, в книге наряду с традиционными силами, изучаемыми в классических учебниках механики (силы тяготения, упругости и трения), С.Э. Хайкиным были рассмотрены основные случаи движения тел под действием электродинамических сил. Это дополнение, несомненно, обогатило содержание нового учебника механики¹⁴.

Несмотря на это, учебник «Механика» С.Э. Хайкина подвергся идеологическим нападкам, обвинениям в махизме и идеализме. «Ошибки в книге проф. С.Э. Хайкина заключаются не только в том, что в ней отсутствуют марксистские определения понятий материи, движения, пространства и времени; их нельзя также свести к отдельным неудачным формулировкам. Ошибки состоят в том, что основные понятия и законы механики трактуются не в свете материалистической теории познания, а с позиций нынешнего операционализма. Эту трактовку механики невозможно исправить улучшением отдельных формулировок или добавлением новых, марксистских определений. Необходима коренная перестройка книги» [240. С. 476]. К чести ученых, в редакцию журнала «УФН» пришли и письма, поддерживающие С.Э. Хайкина и защищающие его от необоснованных обвинений в «идеалистических ошибках». Он направил письмо в редакцию «УФН» под названием «О методологических недостатках моего учебника “Механика”» [Там же. С. 483–490]. Однако ситуация для С.Э. Хайкина сложилась тяжелая: в 1953 г. он был вынужден уйти из ФИАН.

Под руководством С.Э. Хайкина был резко поднят и уровень семинарских занятий по общему курсу физики. Традиционный набор задач 1920-х и начала 1930-х гг. сменился новыми сборниками задач по общему курсу физики, вышедшими под его редакцией. Эти сборники выдержали несколько изданий и были переведены на множество иностранных языков.

В своей педагогической работе на физическом факультете МГУ, а затем в МИФИ С.Э. Хайкин никогда не ограничивался чтением курсов и руководством семинарами. Он с большим интересом вел занятия в студенческих кружках. С.Э. Хайкин заложил прочные основы связи физического факультета МГУ со школьным преподаванием

¹⁴ Не меньшее значение для подъема уровня вузовского преподавания физики имело чтение С.Э. Хайкиным лекций по курсу электричества и магнетизма.

физики, организовав первые олимпиады и придумывая для них множество задач. В настоящее время физические олимпиады стали традиционной формой работы физического факультета МГУ со школьниками.

Представители научной школы. С.Э. Хайкин обладал обширными техническими знаниями, которые позволили ему успешно сочетать чисто научные исследования с практическими применениями полученных результатов. Широкий кругозор научных интересов в совокупности с талантом организатора привлекали к нему молодых специалистов. Приведем список некоторых сотрудников и учеников С.Э. Хайкина и сопроводим его краткими характеристиками полученных ими результатов.

- В.В. Виткевич — один из пионеров отечественной радиоастрономии, доктор физико-математических наук, лауреат Государственной премии СССР (1968 г.), основатель и первый руководитель Радиоастрономической станции ФИАН. В 1939 г. он окончил радиофакультет МИИС. На основе дипломной работы В.В. Виткевича (руководитель С.Э. Хайкин) была подготовлена и его первая научная публикация, посвященная исследованию проблемы синхронизации мультивибратора.

В 1948 г. В.В. Виткевич начал работать в ФИАН. С этого времени сначала в составе небольшой группы, руководимой С.Э. Хайкиным, а затем в должности заведующего лабораторией В.В. Виткевич работал в области радиоастрономии. В 1951 г. он предложил новый метод исследования солнечной короны путем изучения проходящего через нее радиоизлучения дискретных источников (метод «просвечивания»). С его помощью В.В. Виткевич впервые провел исследование внешних областей солнечной короны, в результате чего были открыты сверхкорона Солнца и радиальные магнитные поля в околосолнечном пространстве. Разработанный им интерференционный метод позволил определять угловые координаты запускавшихся к Луне космических аппаратов. В 1961 г. по совокупности опубликованных работ на тему «Радиоастрономические исследования сверхкороны Солнца» В.В. Виткевичу была присвоена ученая степень доктора физико-математических наук.

В 1959–1964 гг. в Пушино на территории Радиоастрономической станции ФИАН под его руководством был создан гигантский радиотелескоп ДКР-1000 с апертурой размерами 40 м x 1000 м. В 1964–1968 гг. на этом радиотелескопе В.В. Виткевичем и его сотрудниками были проведены высокочувствительные наблюдения более 500 радиоисточников на нескольких длинах волн. С 1968 г. его научная деятельность была

почти целиком посвящена исследованию пульсаров. Для их исследований В.В. Виткевич организовал группу молодых астрофизиков. Ими были получены следующие результаты: определена поляризация радиоизлучения пульсаров и по эффекту Фарадея измерена напряженность галактического магнитного поля, открыт первый «пушинский» пульсар PP 0943 и др. Для развития работ по пульсарам при участии В.В. Виткевича был спроектирован радиотелескоп БСА ФИАН.

В.В. Виткевич воспитал много учеников, которые в настоящее время составляют основу коллектива ПРАО АКЦ ФИАН.

- Н.Л. Кайдановский — доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник ИПА, один из пионеров отечественной радиоастрономии. Он окончил механико-математический факультет МГУ. Вместе с С.Э. Хайкиным Н.Л. Кайдановский разработал теорию релаксационных колебаний механических систем и экспериментально проверил ее основные положения. После возвращения с фронта Н.Л. Кайдановский начал заниматься вопросами радиоастрономии. Он уехал в Ленинград и устроился на работу в ИПА.

Н.Л. Кайдановский стал известен благодаря работам по созданию аппаратуры для наблюдений Солнца, планет Солнечной системы и Галактики в сантиметровом диапазоне. Он сконструировал первый поляризационный радиометр на длину волны 3 см, ряд радиотелескопов сантиметрового диапазона, провел цикл исследований по распространению радиоволн в атмосфере. Н.Л. Кайдановский внес основополагающий вклад в теорию АПП. При его участии были созданы крупнейшие российские радиотелескопы БПР и «РАТАН-600». В ходе работы над БПР Н.Л. Кайдановский выполнил оптико-геометрические расчеты антенны с отражателем переменного профиля, предложил принципы конструкции, руководил работой по юстировке и первыми радиоастрономическими наблюдениями, которые на ней проводились.

Н.Л. Кайдановский проявил себя и как историк наук, опубликовав ряд материалов по истории радиоастрономии: статьи «У истоков радиоастрономии» [246], препринты, посвященные деятельности С.Э. Хайкина [244] и созданию «РАТАН-600» [242].

- Н.С. Соболева — доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник ГАО и Санкт-Петербургского САО. В 1954 г., будучи студенткой МГУ, она стала женой своего сокурсника Ю.Н. Парийского. Вместе с ним она работала над многими радиоастрономическими задачами. В 1955 г. Н.С. Соболева окончила физико-

математический факультет МГУ и по распределению была направлена в ГАО. Здесь она была зачислена в отдел радиоастрономии С.Э. Хайкина.

В ГАО Н.С. Соболева занималась исследованиями по обнаружению поляризации солнечного радиоизлучения на сантиметровых волнах, уточнению геометрии и физики долгоживущих замагниченных плазменных образований в нижней хромосфере Солнца. К ее достижениям, полученным на БПР, следует отнести: первые радиоизображения Крабовидной туманности в поляризованном излучении на сантиметровых волнах, первое детальное исследование поляризации радиоизлучения Луны и наиболее точное определение диэлектрической проницаемости лунной поверхности, обнаружение асимметрии в распределении поляризованного излучения в «поясах радиации» Юпитера.

Будучи талантливым методистом, Н.С. Соболева сыграла огромную роль в организации первых наблюдений на радиотелескопе РАТАН-600. Она оказала неоценимую помощь в исследовании факторов, снижающих эффективность данного радиотелескопа. Кроме того, Н.С. Соболева была одним из самых активных участников международного проекта «Большое Трио» (РАТАН-600, «VLA», БТА), в результате которого была обнаружена одна из самых далеких радиогалактик во Вселенной ($z = 4,515$). Работы по этому проекту она продолжала практически до ухода из жизни.

▪ Н.А. Есепкина — заслуженный деятель науки и техники РФ, лауреат Государственной премии СССР, доктор физико-математических наук, профессор. Ее научная и педагогическая деятельность была неразрывно связана с ЛПИ. В 1954 г. после окончания с отличием радиотехнического факультета по специальности «Техническая физика» она была оставлена ассистентом на кафедре радиофизики, где после обучения в аспирантуре и защиты кандидатской диссертации работала старшим научным сотрудником, а затем — доцентом. В 1969 г. Н.А. Есепкина защитила диссертацию на соискание ученой степени доктора физико-математических наук и стала профессором кафедры квантовой электроники. В 1970-х гг. она организовала на факультете отраслевую лабораторию антенн и систем обработки СВЧ сигналов, а в 1990-х гг. — центр оптоэлектронных проблем информатики, которым она бессменно руководила.

Н.А. Есепкина была одной из ярких представителей научной школы С.Э. Хайкина. Она активно привлекала выпускников ЛПИ к исследованию характеристик БПР. Н.А. Есепкиной были предложены и впервые использованы в практике антенных измерений новые методы юстировки и определения характеристик остронаправленных

антенн по измерениям в ближней зоне. Электродинамическая теория АПП, в разработку которой она внесла решающий вклад, стала основой для создания БПР и РАТАН-600.

С 1970-х гг. Н.А. Есепкина активно занималась исследованием новых перспективных систем обработки широкополосных СВЧ сигналов. Под ее руководством и при непосредственном участии был выполнен цикл работ по созданию элементной базы акустооптики и новых акустооптических устройств различного назначения. В лаборатории Н.А. Есепкиной впервые в нашей стране были созданы акустооптические спектрометры для радиоастрономии.

▪ Ю.Н. Парийский — академик РАН, доктор физико-математических наук. В 1955 г. он окончил МГУ по специальности «астрономия». При выполнении дипломной работы в ФИАН под руководством А.Е. Саломоновича Ю.Н. Парийский разработал радиометр для наблюдений солнечного затмения на длине волны 8 мм (1954 г.). Полученные результаты были им использованы для уточнения структуры солнечной хромосферы. После окончания университета Ю.Н. Парийский был принят в ГАО в отдел радиоастрономии С.Э. Хайкина, предложившего ему исследовать радиоисточники непрерывного радиоизлучения в сантиметровом диапазоне длин волн с высоким разрешением на БПР. Первые же наблюдения Млечного пути с высоким разрешением привели к обнаружению тонкой структуры радиоисточника в центре Галактики размером менее 1 мин дуги. После улучшения качества отражающих элементов БПР и методов юстировки для проведения наблюдений на длине волны 8 мм Ю.Н. Парийским и его коллегами было изучено распределение радиояркости по диску Венеры, позволившее оценить физические условия на поверхности планеты.

Ю.Н. Парийским были проведены детальные оценки роли шума от фоновых радиоисточников, ограничивающего возможности радиотелескопов на метровых волнах. С 1969 г. он связал свою судьбу с РАТАН-600 и САО. Под руководством Ю.Н. Парийского были осуществлены первые наблюдения на этом радиотелескопе. Его сотрудниками было проведено исследование радиоизлучения всех Галилеевых спутников Юпитера, а для самого малого по размерам (Европы) и самого близкого к Юпитеру (Ио) впервые в мире было зарегистрировано радиоизлучение.

Особое внимание Ю.Н. Парийский уделял изучению ранней Вселенной. В частности, его группой была получена статистически значимая информация о спектральных свойствах слабых радиоисточников в сантиметровом диапазоне, что

позволило оценить их влияние на эксперименты по изучению реликтового фона.

▪ Д.В. Корольков — главный конструктор радиотелескопа РАТАН-600, лауреат Государственной премии СССР. После окончания ЛПИ он работал в отделе радиоастрономии С.Э. Хайкина в ГАО. В 1969 г. Д.В. Корольков был назначен главным конструктором по радиоэлектронному оборудованию радиотелескопа РАТАН-600. В 1972 г. он защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. Будучи талантливым радиоинженером и блестящим исследователем, Д.В. Корольков активно и успешно занимался разработкой интерферометрических методов наблюдения Солнца. Он стоял у истоков проекта крупнейшего специализированного крестообразного телескопа под Иркутском.

В 1962 г. Д.В. Корольковым был сконструирован и установлен на БПР самый чувствительный по тем временам широкополосный радиометр по схеме прямого усиления с параметрическим усилителем. Уже первые наблюдения в Пулковско показали, что высокая чувствительность радиометров не может быть реализована из-за флуктуаций собственного радиоизлучения атмосферы. Двухлучевой метод борьбы с атмосферными шумами, детально исследованный Д.В. Корольковым, оказался очень эффективным в случае очень больших антенн, когда вся атмосфера находится в ближней зоне радиотелескопа.

В 1977–1980 гг. под его руководством была решена задача практической реализации новой, перспективной схемы радиометра — схемы с добавлением шумов и модуляцией усиления. Путем «охлаждения» антенной системы РАТАН-600 с помощью простых сеток, экранирующих собственное излучение фундаментов радиотелескопа, удалось до предела снизить ее шумовую температуру и на волне 7,6 см реализовать рекордную по тому времени чувствительность.

Результаты научной школы. Будучи одним из представителей научной школы Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси, С.Э. Хайкин внес значительный вклад в теорию нелинейных колебаний, в частности, в изучение автоколебательных процессов. Квинтэссенцией его научного творчества в этой области стал выход в свет книги «Теория колебаний. Часть I» [45], в которой он был одним из авторов.

После вынужденного ухода из МГУ С.Э. Хайкин работал в ФИАН заведующим сектором радиоастрономии в лаборатории колебаний. Здесь вместе с сотрудниками он выполнил ряд радиофизических исследований поверхностных свойств жидкостей и

твердых тел. Отметим, что данные работы способствовали решению некоторых проблем физики металлов и молекулярной физики. С.Э. Хайкин проявил себя не только как талантливый экспериментатор и исследователь, но и как блестящий организатор. В ФИАН ему удалось собрать коллектив единомышленников, которых в дальнейшем он заинтересовал радиоастрономической тематикой.

Огромной заслугой С.Э. Хайкина стало то, что он не только успешно довел до логического завершения запланированную Н.Д. Папалекси Бразильскую экспедицию, но и смог вместе с учениками разработать методы и инструментальную базу (радиотелескопы, радиометры, поляриметры и др.) радиоастрономии. Обнаружение радиоизлучения солнечной короны в метровом диапазоне стало выдающимся достижением отечественной радиоастрономии. В 1971 г. на это открытие был выдан диплом со следующей формулировкой: «Экспериментально установлено неизвестное ранее явление, заключающееся в том, что источником излучаемых Солнцем радиоволн во внешнее пространство является солнечная корона, причем наиболее интенсивно излучающие области короны соответствуют оптически активным областям фотосферы Солнца». К сожалению, к этому времени ни одного из авторов открытия (Б.М. Чихачева, Н.Д. Папалекси, С.Э. Хайкина) уже не было в живых.

В 1948–1949 гг. С.Э. Хайкин возглавил работы по созданию первой советской радиоастрономической станции в Крыму. В рамках КЭ удалось спроектировать и сконструировать крупные по тому времени радиотелескопы. Коллективом С.Э. Хайкина были предложены методы диаграммной модуляции, абсолютной калибровки принимаемого излучения, квазиоптические методы анализа поляризованного излучения. Его учениками были получены важные данные о радиоизлучении Солнца, Луны, межпланетной плазмы и ионосферы.

С.Э. Хайкин стал инициатором продвижения радиоастрономических исследований в область сантиметровых и миллиметровых волн. Для реализации этой инновационной идеи он организовал в Пулковской обсерватории отдел радиоастрономии. Здесь при участии С.Э. Хайкина были разработаны радиотелескопы нового типа, обладающие высокой разрешающей способностью (БПР и РАТАН-600). БПР стал первым радиотелескопом с АПП и послужил прообразом для конструирования крупнейшего в мире радиотелескопа с рефлекторным зеркалом диаметром 600 м. С помощью этих устройств была выполнена обширная программа наблюдений и

исследований (в том числе, под руководством С.Э. Хайкина).

Одним из достижений научной школы С.Э. Хайкина можно с полным правом считать публикацию фундаментальной книги его учеников Н.А. Есепкиной, Д.В. Королькова и Ю.Н. Парийского «Радиотелескопы и радиометры» [210]. В ней приведено систематическое изложение принципов работы радиотелескопов (антенн и приемных устройств) и методов формирования изображения космических источников радиоизлучения. В книге рассмотрены сравнительные характеристики радиотелескопов различных систем, в частности, антенны с заполненными апертурами, антенны апертурного синтеза и радиоинтерферометры со сверхбольшими базами. Большое внимание авторы уделили изучению влияния атмосферы и других факторов внешней среды на параметры радиотелескопов, а также вопросам юстировки антенн и измерениям их характеристик.

Нельзя не отметить педагогическую сторону деятельности С.Э. Хайкина. Лекции, которые он читал на физическом факультете МГУ, существенно повысили уровень преподавания механики в высшей школе. Его учебники «Механика» и «Физические основы механики» стали настоящими шедеврами учебной физической литературы. Несмотря на то, что первые их издания были опубликованы более полувека назад, книги С.Э. Хайкина широко используются и сейчас в процессе обучения. К его заслугам как выдающегося педагога и организатора следует также отнести выпуск различных учебных и методических материалов, организацию первых олимпиад по физике, разработку новых лекционных демонстраций и др.

В заключение приведем высказывание Н.Л. Кайдановского, которое, на наш взгляд, наилучшим образом характеризует жизненные принципы С.Э. Хайкина: «Идеи С.Э. Хайкина, как идеи всякого смелого новатора, далеко не всегда и не сразу встречали понимание и всеобщее признание. Но С.Э. Хайкин никогда не отступал в принципиальных спорах и с огромной энергией, трудом и настойчивостью добивался реализации и воплощения в жизнь своих предложений» [245. С. 60].

Таблица 3, заполненная применительно к научной школе С.Э. Хайкина, приведена в Приложении 4 (таблица 10п).

Выводы по главе 5

1. Описана эволюция научной школы Ю.Б. Кобзарева, оказавшей основополагающее влияние на создание и развитие отечественной импульсной радиолокации, принципов построения когерентно-импульсной радиолокационной техники и основ теории оптимальной обработки радиолокационных сигналов.

2. Из научной школы Ю.Б. Кобзарева вышло множество докторов и кандидатов наук, специалистов в области теоретической и прикладной радиолокации. Благодаря его высокому научному авторитету и организаторским способностям, удалось сформировать новые лаборатории и отделы в НИИ-20 и ИРЭ.

3. Рассмотрена деятельность научной школы С.Э. Хайкина, которая привела к разработке методов и инструментальной базы экспериментальной радиоастрономии в нашей стране. Полученные С.Э. Хайкиным и его учениками результаты позволили спроектировать и создать радиотелескопы нового типа (БПР и РАТАН-600). С помощью этих устройств были совершены некоторые важнейшие астрофизические открытия.

4. На основе достижений научной школы С.Э. Хайкина было защищено более 25 кандидатских и 10 докторских диссертаций. Пулковский коллектив радиоастрономов составил ядро радиоастрономического сектора САО.

5. Показано, что Ю.Б. Кобзарев и С.Э. Хайкин внесли значительный вклад в теорию нелинейных колебаний. Они проявили себя и как талантливые педагоги и организаторы учебного процесса.

6. Рассмотренные научные школы внесли значительный вклад в формировании таких магистральных направлений радиофизики как радиолокация и радиоастрономия (в этих областях работали и другие школы). В таблице 7 приведены некоторые характеристики научных школ Ю.Б. Кобзарева и С.Э. Хайкина.

**Отечественные научные школы в области отечественной
радиолокации и радиоастрономии**

Название научной школы	Исследовательская программа	Наиболее активный период деятельности научной школы, годы
Ю.Б. Кобзарев и научная школа в области радиолокации	Создание теоретических основ радиолокации, разработка активных и пассивных радиолокационных устройств и их применение в различных областях техники и оборонной промышленности	1945–1992
С.Э. Хайкин и научная школа в области экспериментальной радиоастрономии	Разработка радиоастрономической аппаратуры и методов, проектирование и конструирование радиотелескопов для проведения астрономических наблюдений и исследований в сантиметровом и миллиметровом диапазонах	1945–1967

Заключение

В диссертации показано, что история отечественной радиофизики тесно связана с деятельностью научных школ. Благодаря работам радиофизических школ, были заложены экспериментальные и теоретические основы для формирования этой науки:

- разработан научно-инженерный подход к конструированию различных радиотехнических систем (школы И.Г. Фреймана и М.В. Шулейкина);
- предложен научно-инженерный подход к проектированию и конструированию мощных радиовещательных станций, радиоэлектронных систем для ускорителей заряженных частиц и РЛС для систем ПРО, ККП, ПРН (школа А.Л. Минца);
- изучены электромагнитные процессы в веществе с точки зрения теории электромагнитного поля Дж.К. Максвелла и применены ее представления к ферромагнитным металлам (школа В.К. Аркадьева);
- обоснованы экспериментально и теоретически особенности распространения УКВ (школа Б.А. Введенского).

Благодаря деятельности указанных школ, в 1930–1940-х гг. радиофизика сформировалась как самостоятельная научная дисциплина. В этот период ведущую роль играла научная школа Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси. Работы, выполненные ее представителями, позволили определить предмет радиофизики, разработать ее методы, терминологию и методологию исследований, сформировать «нелинейную колебательную культуру». В совокупности это привело к получению выдающихся достижений в радиофизике, теории нелинейных колебаний, теории автоматического регулирования, оптике, акустике и других направлениях науки и техники.

Исследовательская программа научной школы Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси оказалась очень эффективной. Это подтверждается тем, что их ученики успешно продолжили исследования в рамках данной программы, а также достигли впечатляющих результатов в новых научных направлениях. Работы учеников Л.И. Мандельштама и Н.Д. Папалекси привели:

- к усовершенствованию теории нелинейных колебаний, применению ее методов к различным вопросам радиофизики и теории автоматического регулирования (школа А.А. Андропова);

- к использованию колебательного подхода при решении различных вопросов науки и техники, исследованию свойств вещества и излучения его радиофизическими методами (школа Г.С. Горелика);
- к разработке теории автоколебаний и применению ее методов к решению радиофизических проблем (исследования С.Э. Хайкина);
- к созданию и проведению семинаров по статистической радиофизике, тематика которых была посвящена актуальным проблемам этой научной дисциплины (руководитель семинара С.М. Рытов).

Отметим, что С.Э. Хайкин и Ю.Б. Кобзарев в начале своей научной биографии выполнили ряд важных работ в области радиотехники и теории нелинейных колебаний. Впоследствии коллектив ученых под руководством Ю.Б. Кобзарева провели основополагающие исследования по созданию и развитию импульсной радиолокации, принципов построения когерентно-импульсной радиолокационной техники. Деятельность научной школы С.Э. Хайкина связана с разработкой методов и инструментальной базы экспериментальной радиоастрономии.

В диссертации описаны десять научных школ в отечественной радиофизике. Для наглядного представления и сравнения их жизненных циклов была использована программа ОСЗ «Хронолайнер 1.5» [103]. Она предназначена для создания, структурирования и визуализации хронологических материалов. С помощью инструментов Хронолайнера можно составить ленту времени («хронолинию»), нанеся на нее различные события, сравнить события, находящиеся на различных временных шкалах.

В качестве событий были выбраны десять исследовательских программ. Они были расположены на шкале времени (схема 1), которая хронологически охватывает следующий период:

с 1913 г. (начало работы научной школы М.В. Шулейкина — самой ранней из описанных радиофизических школ)

по 1992 г. (окончание деятельности научной школы Ю.Б. Кобзарева — последней из рассмотренных радиофизических школ).

С точки зрения временных интервалов схема 2 идентична схеме 1. Однако она является более информативной, так как в нее добавлены портреты руководителей научных школ и формулировки их исследовательских программ. При составлении

схемы 1 было выбрано следующее цветовое оформление:

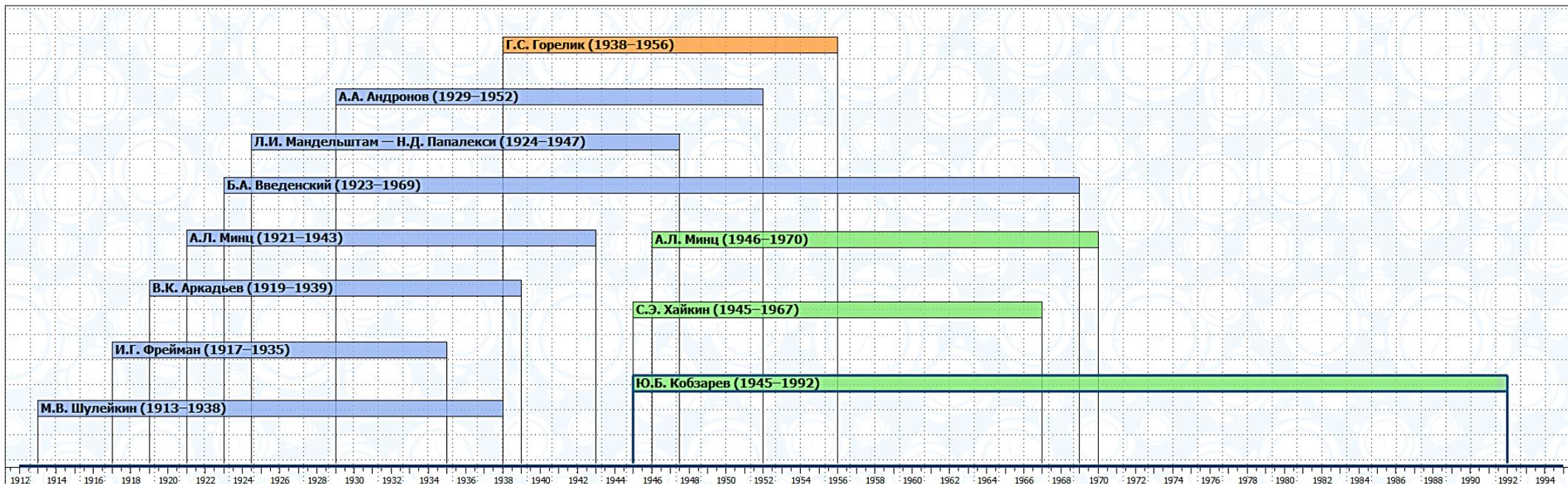
- **синим цветом** отмечены исследовательские программы научных школ, работа которых началась на этапе IV развития радиофизики — с 1895 гг. по 1930 гг.;
- **оранжевым цветом** показаны исследовательские программы научных школ, расцвет которых пришелся на этап V развития радиофизики — с 1930 по 1940-е гг.;
- **зеленым цветом** выделены исследовательские программы научных школ, зарождение которых произошло на этапе VI развития радиофизики — с 1940-е гг. по настоящее время (в нашем случае до 1992 г.).

Использование данных цветовых решений обусловлено тем, что все рассмотренные радиофизические школы охватывают не один, а несколько этапов развития радиофизики. В связи с этим исследовательские программы на схемах 1 и 2 были нанесены в соответствии с началом их деятельности.

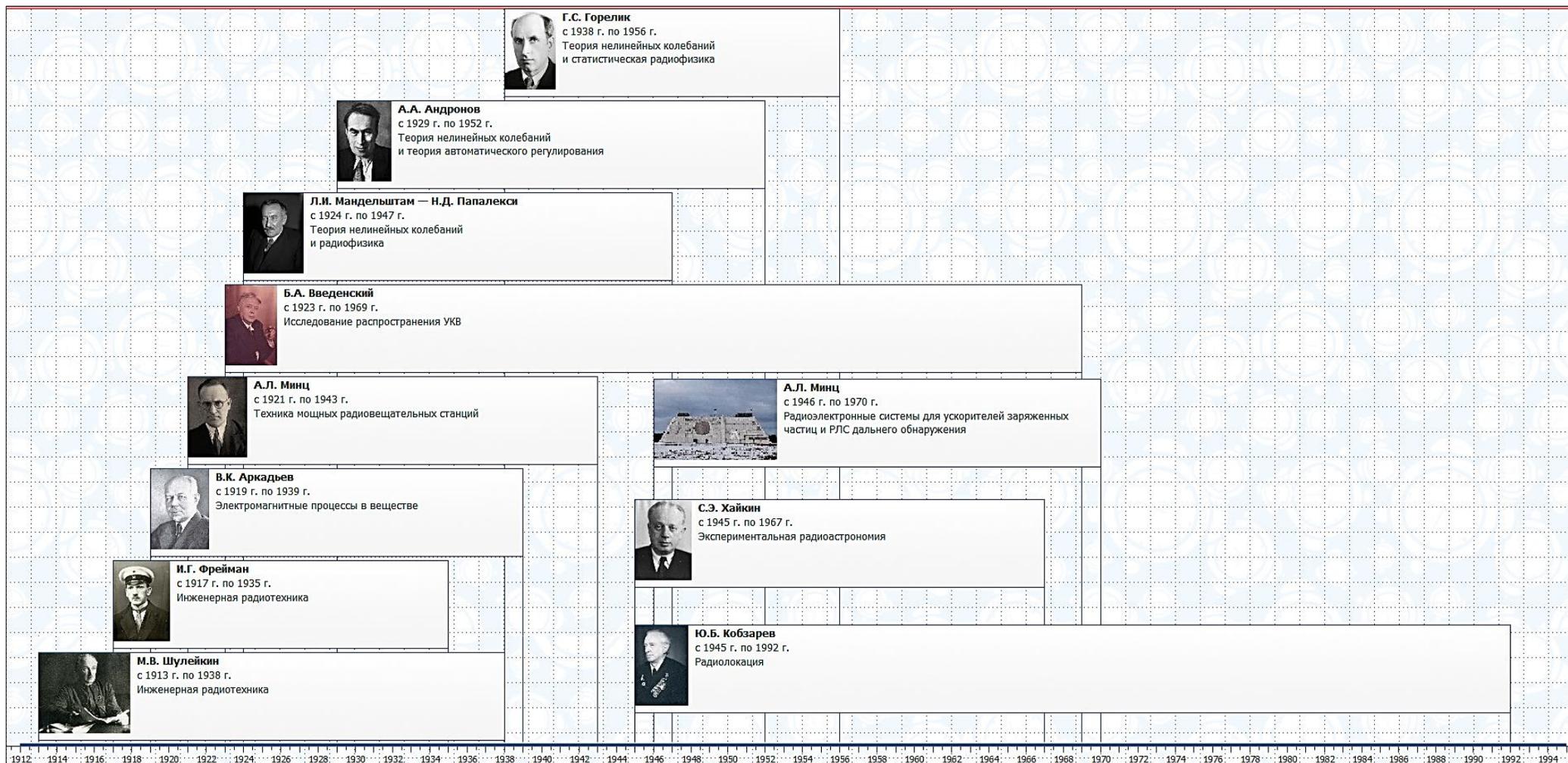
Анализируя жизненные циклы научных школ в отечественной радиофизике, можно прийти к следующему любопытному выводу. В среднем их жизненный цикл составляет 26 лет. Это подтверждает приведенное в § 2.3.3 утверждение о том, что оптимальный возраст эффективных научных школ колеблется в диапазоне 20–25 лет. При этом школами-долгожителями в области радиофизики оказались научные коллективы, возглавляемые А.Л. Минцем (в общей сложности его школы действовали на протяжении 46 лет), Б.А. Введенским (46 лет) и Ю.Б. Кобзаревым (47 лет).

Тем самым, научные школы А.Л. Минца и Б.А. Введенского способствовали не только зарождению, но и развитию радиофизики, так как их исследовательские программы хронологически охватывают IV, V и VI этапы в периодизации радиофизической науки. Научный коллектив Ю.Б. Кобзарева оказал весомое влияние на развитие радиофизики (особенно радиолокации) после этапа ее формирования.

Жизненные циклы научных школ в отечественной радиофизике



Исследовательские программы научных школ в отечественной радиофизике



Их схем 1 и 2 видно, что история практически всех исследовательских программ пришлась на IV и V этапы развития радиофизики. Таким образом, зарождение и формирование радиофизики в нашей стране обусловлено деятельностью научных школ. Рассмотрев деятельность научных коллективов А.Л. Минца (в области создания РЛС дальнего действия), Ю.Б. Кобзарева и С.Э. Хайкина, мы пришли к следующему выводу. Дальнейшая эволюция радиофизической науки происходила в рамках ее магистральных направлений. В этом процессе значительную роль также играли научные школы.

Определим некоторые направления дальнейшей историко-научной работы в области радиофизики и обозначим перспективные идеи.

1) Детальное изучение научной школы Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси позволяет сформировать панорамный взгляд на процессы зарождения и развития радиофизики в нашей стране. При этом анализ деятельности этой научной школы в области теории нелинейных колебаний и применений ее методов в радиофизике может стать предметом отдельного историко-научного изыскания. В него следует включить рассмотрение дочерних школ, методологически и идеологически связанных с научной школой Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси.

Важно отметить, что, изучая даже не связанную с ней радиофизическую школу, можно обнаружить явные и неявные «нити», ведущие к творческому наследию Л.И. Мандельштама и Н.Д. Папалекси, исследование которых имеет несомненный историко-физический интерес. Кроме того, необходимо осветить более подробно научные биографии Н.Д. Папалекси и С.Э. Хайкина (в отличие от Л.И. Мандельштама, о них написано не так много).

2) Фронт историко-научного исследования можно существенно расширить, включив в него изучение других отечественных научных школ в области радиофизики. Перечислим некоторые научные коллективы, не описанные в диссертации.

- С точки зрения развития физики полупроводников и квантовой электроники представляют интерес научные школы Б.М. Вула, А.М. Прохорова, Н.Г. Басова, Ж.И. Алферова.

- Основополагающий вклад в развитие нелинейной оптики, лазерной спектроскопии и приложению их методов к решению радиофизических задач внесли научные школы Р.В. Хохлова — С.А. Ахманова, В.С. Летохова.

- В истории радиоспектроскопии центральное место занимает Казанская научная

школа магнитной радиоспектроскопии (Е.К. Завойский, С.А. Альтшулер, Б.М. Козырев).

- Н.Д. Девятков и его научная школа выполнили важнейшие работы в области физики и техники СВЧ диапазона, радиолокации, медицинской электроники.

- А.А. Пистолькорс и его ученики провели ключевые научные исследования в антенной и волноводной технике, радиосвязи и радиолокации.

- В.С. Троицкий и его научная школа известна благодаря исследованиям в области экспериментальной радиоастрономии. В частности, он создал наиболее полную теорию теплового радиоизлучения Луны. Под руководством В.С. Троицкого были разработаны методы определения физических свойств ее верхнего покрова по различным характеристикам радиоизлучения.

- В научной школе В.Л. Гинзбурга в ГГУ успешно развивались два направления: 1) исследование распространения электромагнитных волн в ионосферной и космической плазме, галактического радиоизлучения и радиоизлучения Солнца; 2) решение астрофизических и радиоастрономических задач.

- И.С. Шкловский организовал и возглавил отдел радиоастрономии в ГАИШ, который превратился в отдел всеволновой астрономии. В нем проводились исследования по радиоастрономии, инфракрасной астрономии, внеатмосферной астрономии, оптической интерферометрии и спектроскопии, проблеме SETI.

Мы не ставили перед собой цель создать наиболее полную энциклопедию научных школ в отечественной радиофизике. Историко-научная работа была направлена на раскрытие возможностей применения научно-школьного подхода к изучению истории развития радиофизики в нашей стране. Для этого была рассмотрена деятельность тех научных школ, которые оказали решающее влияние на ее эволюцию.

3) Интересно проанализировать вопрос о том, существуют ли творческие коллективы, подобные научным школам, на Западе. В этом контексте можно обсудить научную деятельность К.Ф. Брауна. В Страсбургском университете у него учились и стажировались Л.И. Мандельштам, Н.Д. Папалекси, Дж. Ценнек, ставшие впоследствии известными радиофизиками. Необходимо отметить научную школу радиоастрономии в Австралии. По уровню локализации ее можно отнести к национальным научным школам [197]. У истоков Австралийской радиоастрономической школы стояли Б. Миллс, У. Христиансен, П. Уайлд, Дж. Поззи, Р. Брейсуэлл и др. Каждый из этих ученых внес весомый вклад в развитие радиоастрономии после Второй мировой войны.

Например, Б. Миллс предложил крестообразную систему радиотелескопа — эффективную и простую интерференционную систему («крест Миллса»), которая состоит из двух линий антенн, расположенных по направлениям «север — юг» и «запад — восток». В 1949 г. У. Христиансен разработал новый тип многолучевого радиоинтерферометра, обладающего высоким угловым разрешением, который состоит из линейно расположенных подвижных параболоидов. Впоследствии он сконструировал аналогичную крестообразную интерферометрическую систему — «крест Христиансена».

4) Научная школа представляет собой идеализированный объект историко-научного исследования. Разумеется, что история любого неформального научного коллектива шире этого понятия. Вместе с тем, используя научно-школьный подход, можно описать не только научные результаты, полученные той или иной школой, но и обнаружить тенденции, закономерности развития определенного научного направления в радиофизике. Это позволит не только систематизировать накопленный материал по научным школам, но и выявить «белые пятна» в истории радиофизической науки.

5) Результаты деятельности радиофизических школ находят широкое применение в военной технике, оборонных технологиях, радиопромышленности. В нашей стране созданы уникальные радиофизические концерны, которые занимаются разработкой, производством и модернизацией зенитно-ракетного и радиолокационного оборудования, систем разведки и управления. К ним можно отнести ОАО «Концерн “Вега”», ОАО «МНИИРЭ “Альтаир”», ОАО «Концерн ПВО “Алмаз-Антей”» и др. Исследование их научной деятельности актуально для выработки стратегии дальнейшего развития и совершенствования военного потенциала России.

6) Для представления объективной картины развития отечественной радиофизики необходимо проанализировать взаимоотношения советских ученых-радиофизиков и власти в период репрессий, идеологических кампаний. Это позволит передать атмосферу, социокультурный фон, в котором работали научные школы в то трагическое время. В историко-научном исследовании мы частично затронули эту тему, рассказав об идеологических нападениях на фундаментальные труды в области радиофизики и ее авторов: V том сочинений Л.И. Мандельштама, двухтомный «Курс физики» Н.Д. Папалекси, первое издание книги «Теория колебаний» А.А. Андропова и С.Э. Хайкина, учебники «Колебания и волны» Г.С. Горелика, «Механика» С.Э. Хайкина. Но ее можно

продолжить и рассказать о непростых судьбах В.А. Котельникова, М.Л. Левина, А.И. Берга, Д.А. Рожанского, С.М. Рытова.

7) Рассматривая научную деятельность таких известных радиофизических центров, как кафедра физики колебаний МГУ, ИПФ РАН, ИРЭ АН УССР, РИ НАНУ, УФТИ, ПРФЛ можно сделать два важных вывода. Во-первых, история их возникновения напрямую связана с деятельностью научных школ. Традиции, научно-исследовательский подход и стиль работы этих школ были унаследованы участниками научных, научно-производственных и образовательных учреждений в области российской и украинской радиофизики. Во-вторых, на географической карте нашей страны существуют города (и их области), в которых наиболее ярко сконцентрирована передовая радиофизическая мысль (Москва, Санкт-Петербург, Н. Новгород).

Подобной «Меккой» радиофизики на Украине является Харьков. Данный «атлас» радиофизических школ можно расширить, включив в него, например, научные коллективы Саратова. К ним относятся школы В.И. Калинина в области физики и техники СВЧ-колебаний, В.С. Анищенко по нелинейной динамике, Д.И. Трубецкова в области электроники, СВЧ-радиофизики и нелинейной динамики.

В заключение приведем высказывания двух выдающихся ученых-радиофизиков. Их авторитетные мнения весьма актуальны в настоящее время. Согласно А.В. Гапонову-Грехову, «в русской науке важнейшую роль играло это уникальное явление — научные школы. В них наилучшим образом сочетается индивидуальное творчество отдельных личностей с коллективной исследовательской работой» [157. С. 86].

В статье, датированной 1936 г. (!) А.А. Чернышев писал: «Мы часто недооцениваем свои собственные идеи и излишне преклоняемся перед заграницей... Разумеется, мы должны прислушиваться к новейшим достижениям заграничной техники, должны использовать ее достижения, должны учиться на лучших образцах иностранной техники и науки. Однако это должно делаться в меру. Надо более внимательно присматриваться к тому, что делается в наших собственных институтах и уметь вовремя поддерживать новые предложения, не дожидаясь, пока они будут разработаны за границей и затем импортированы к нам» [Цит. по: 254].

На наш взгляд, комментарии здесь излишни. Ясно одно — государство и научное сообщество — должны уделять значительно больше внимания поддержке и развитию научных школ (и их вариаций) в нашей стране.

Список сокращений и условных обозначений

- АКЦ** — Астрокосмический центр ФИАН
- АМС** — Автоматические межпланетные станции
- АПП** — Антенна переменного профиля
- АТОК** — Акустическое исследование температурного режима океана
- БПР** — Большой Пулковский радиотелескоп
- БСЭ** — Большая советская энциклопедия
- БТА** — Большой телескоп азимутальный
- ВМА** — Военно-морская академия
- ВМФ** — Военно-морской флот
- ВНИИМР** — Всероссийский научно-исследовательский институт мощного радиостроения им. Коминтерна
- ВНИИРТ** — Всероссийский научно-исследовательский институт радиотехники
- ВПК** — Военно-промышленный комплекс
- ВРТЛ РККА** — Военная радиотехническая лаборатория Рабоче-крестьянской Красной армии
- ВЦСПС** — Всероссийский центральный совет профессиональных союзов
- ВШОПФ** — Высшая школа общей и прикладной физики
- ВЭИ** — Всероссийский электротехнический институт
- ВЭО** — Всесоюзное электротехническое объединение
- ГАИШ** — Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга
- ГАО** — Главная астрономическая обсерватория
- ГВИУ РККА** — Главное военно-инженерное управление Рабоче-крестьянской Красной армии
- ГГУ** — Горьковский государственный университет
- ГИИВТ** — Горьковский институт инженеров водного транспорта
- ГИКОМ** — Гиротронные комплексы
- ГИФО** — Государственный институт физиотерапии и ортопедии
- ГИФТИ** — Горьковский исследовательский физико-технический институт
- ГКО** — Государственный Комитет Обороны

- ГОИ** — Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова
- ГУВП** — Главное управление военной промышленности
- ГУРТ** — Гигантский украинский радиотелескоп
- ГЭТЗСТ** — Государственный электротехнический трест заводов слабого тока
- ГЭЭИ** — Государственный экспериментальный электротехнический институт
- ДАН** — Журнал «Доклады АН СССР»
- ДГС** — Двойная гетероструктура
- ДТР** — Дальнее тропосферное распространение
- ЖРФХО** — Журнал Русского физико-химического общества
- ЖТФ** — Журнал технической физики
- ЖЭТФ** — Журнал экспериментальной и теоретической физики
- ЗРК** — Зенитно-ракетный комплекс
- ИАТ** — Институт автоматики и телемеханики
- ИАЭ** — Институт атомной энергии им. И.В. Курчатова
- ИЗМИРАН** — Институт земного магнетизма и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН
- ИИЕТ** — Институт истории естествознания и техники им С.И. Вавилова РАН
- ИКИ** — Институт космических исследований РАН
- ИОФ** — Институт общей физики
- ИПА** — Институт прикладной астрономии
- ИПФ** — Институт прикладной физики РАН
- ИРЭ** — Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова
- ИСЗ** — Искусственный спутник Земли
- ИТГ** — Институт теоретической геофизики
- ИТЭФ** — Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова
- ИФА** — Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН
- ИФВЭ** — Институт физики высоких энергий им. А.А. Логунова
- ИФП** — Институт физических проблем им. П.Л. Капицы
- ИФТИС МПГУ** — Институт физики, технологии и информационных систем Московского педагогического государственного университета
- ИЯП** — Институт ядерных проблем

- КГУ** — Казанский государственный университет им. В.И. Ульянова-Ленина
- ККП** — Система контроля космического пространства
- КМОП СБИС** — Комплементарная структура металл-оксид-полупроводник сверхбольшой интегральной схемы
- КМР** — Комбинат мощного радиостроения им. Коминтерна
- КНД** — Коэффициент направленного действия
- КОЭФ МПГУ** — Кафедра общей и экспериментальной физики Московского педагогического государственного университета
- КЭ** — Крымская экспедиция
- ЛИИ** — Ленинградский индустриальный институт
- ЛИПАН** — Лаборатория измерительных приборов АН СССР
- ЛОВ** — Лампы обратной волны
- ЛПИ** — Ленинградский политехнический институт им. М.И. Калинина
- ЛФТИ** — Ленинградский физико-технический институт имени А.Ф. Иоффе
- ЛФТЛ** — Ленинградская физико-техническая лаборатория
- ЛЭИС** — Ленинградский электротехнический институт связи им. М.А. Бонч-Бруевича
- ЛЭМК** — Лаборатория электромагнитных колебаний
- ЛЭТИ** — Ленинградский электротехнический институт им. В.И. Ульянова (Ленина)
- ЛЭФИ** — Ленинградский электрофизический институт
- МАГАТЭ** — Международное агентство по атомной энергии
- МВЖК** — Московские высшие женские курсы
- МВТУ** — Московское высшее техническое училище
- МГД-насос** — Магнитогидродинамический насос
- МГПИ** — Московский государственный педагогический институт
- МГУ** — Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
- МИИС** — Московский институт источников связи
- МИФИ** — Московский инженерно-физический институт
- ММА** — Метод медленно меняющихся амплитуд
- МНИИП** — Московский научно-исследовательский институт приборостроения
- МО ГУК** — Минный отдел Главного Управления Кораблестроения

- МПГУ** — Московский педагогический государственный университет
- МРК** — Межведомственный радиотелеграфный комитет
- МРТИ** — Московский радиотехнический институт РАН
- МФТИ** — Московский физико-технический институт
- МЭИ** — Московский энергетический институт
- НИИ-9** — Научно-исследовательский институт № 9
- НИИ ПМК** — Научно-исследовательский институт прикладной математики и кибернетики
- НИИР** — Научно-исследовательский институт радио
- НИИФ МГУ** — Научно-исследовательский институт физики Московского государственного университета
- НИИЯФ МГУ** — Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына Московского государственного университета
- НИИС РККА** — Научно-исследовательский институт связи Рабоче-крестьянской Красной армии
- НИР** — Научно-исследовательская работа
- НИМИС** — Научно-исследовательский морской институт связи
- НИРФИ** — Научно-исследовательский радиофизический институт Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского
- НКВД** — Народный комиссариат внутренних дел СССР
- НКПС (или Наркомпуть)** — Народный комиссариат путей сообщения
- НКЭП** — Наркомат электропромышленности
- ННГУ** — Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского
- НПО** — Научно-производственное объединение
- НРЛ** — Нижегородская радиолоборатория
- НТК МС** — Научно-технический комитет Морских сил
- НТС** — Научно-технический совет
- ОГПУ** — Объединенное государственное политическое управление при СНК СССР
- ОДР** — Общество друзей радио
- ОЛТЦ** — Опытный ленинградский телецентр
- ОНЧ** — Очень низкие частоты

- ОРЛИП** — Отдел радиоаппаратуры лаборатории измерительных приборов
- ОРПУ** — Отраслевая радиолaborатория передающих устройств
- ОС** — Комплекс обнаружения спутников
- ОТН** — Отделение технических наук
- ОТО** — Общая теория относительности
- ПВО** — Система противовоздушной обороны
- ПВХО** — Противохимическая оборона
- ПРН** — Система предупреждения о ракетном нападении
- ПРАО** — Пушчинская радиоастрономическая обсерватория
- ПРО** — Система противоракетной обороны
- ПРФЛ** — Проблемная радиофизическая лаборатория
- РАЛАН** — Радиотехническая лаборатория АН СССР
- РАО** — Российская академия образования
- РАТАН-600** — РадиоТелескоп Академии Наук-600
- РИ** — Радиоастрономический институт НАН Украины
- РИМР** — Российский институт мощного радиостроения
- РЛС** — Радиолокационная станция
- РНТОРЭС** — Российское научно-техническое общество радиотехники, электроники и связи им. А.С. Попова
- РОБТиТ** — Русское общество беспроводных телеграфов и телефонов
- РОРИ** — Российское общество радиоинженеров
- РСДБ** — Радиоинтерферометрия со сверхдлинной базой
- РТИ** — Радиотехнический институт им. А.Л. Минца
- РТФ МЭИ** — Радиотехнический факультет Московского энергетического института
- РЭИ** — Радиоэкспериментальный институт
- САО** — Специальная астрофизическая обсерватория
- СВЧ** — Сверхвысокие частоты
- СДВ** — Сверхдлинные волны
- СКВИД** — сверхпроводящее квантовое интерференционное устройство («Superconducting Quantum Interference Device»)
- СНК** — Совет Народных Комиссаров

- СНЧ** — Сверхнизкие частоты
- ССР** — Сектор специальных работ
- СФТИ** — Сухумский физико-технический институт
- ТиТбп** — Журнал «Телеграфия и телефония без проводов»
- УКВ** — Ультракороткие волны
- УНРЦ** — Учебно-научный радиофизический центр
- УПВО** — Управление противовоздушной обороны
- УРАН** — Украинский радиоинтерферометр Академии Наук
- УТР** — Украинский Т-образный радиотелескоп
- УТС** — Управляемый термоядерный синтез
- УФТИ** — Украинский физико-технический институт
- УФН** — Журнал «Успехи физических наук»
- ФАР** — Фазированная антенная решетка
- ФИАН** — Физический институт Академии наук
- ФТИ** — Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе
- ХИНО** — Харьковский институт народного образования
- ЦАГИ** — Центральный аэрогидродинамический институт им. Н.Е. Жуковского
- ЦВИРЛ** — Центральная военно-индустриальная радиолоборатория
- ЦК ВКП(б)** — Центральный Комитет Всероссийской Коммунистической Партии большевиков
- ЦКБ** — Центральное конструкторское бюро
- ЦНИИ-108** — Центральный научно-исследовательский институт № 108
- ЦНИИГАиК** — Центральный научно-исследовательский институт геодезии, аэросъемки и картографии
- ЦРЛ** — Центральная радиолоборатория
- ЦСО-П** — Центральная станция обнаружения полигонная
- ЦСС-30** — Центральная станция сопровождения-30
- ЭНИН** — Энергетический институт АН СССР
- ЭПР** — Электронный парамагнитный резонанс
- ЭПР** — Эффективная площадь рассеяния
- ЭТИ** — Электротехнический институт
- ЯМР** — Ядерный магнитный резонанс

- «**ACOUS**» — «Arctic Climate Observations using Underwater Sound» (программа по акустическому мониторингу в Арктическом бассейне)
- «**COBE**» — «Cosmic Background Explorer» («Исследователь Космического Фона»)
- «**HEB**» — «Hot electron bolometer» («Болометр на горячих электронах»)
- «**HiPER**» — «The High Power laser Energy Research facility» («Высокомощная экспериментальная лазерная установка»)
- «**IEEE**» — «The Institute of Electrical and Electronics Engineers» («Институт инженеров электроники и электротехники»)
- «**JUSREX'92**» — «Joint US/Russia Internal Waves Remote Sensing Experiment»
- «**LIGO**» — «Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory» (лазерно-интерферометрическая гравитационно-волновая обсерватория)
- «**LOFAR**» — «Low Frequency Array» («Низкочастотная антенная решетка»)
- «**LWA**» — «Long Wavelength Array» («Длинноволновая антенная решетка»)
- «**PEARL**» — «PEtawatt pARametric Laser» («Петаваттный параметрический лазер»)
- «**PICA**» — «Picosecond Imaging Circuit Analysis» («Оптический анализ микросхем с пикосекундным разрешением»)
- «**SOFIA**» — «Stratospheric Observatory For Infrared Astronomy» («Стратосферная обсерватория для инфракрасной астрономии»)
- «**SSPD**» — «Superconducting Single Photon Detector» («Сверхпроводниковые однофотонные детекторы»)
- «**TAP**» — «Transarctic Acoustic Propagation» («Трансарктическая передача акустических сигналов»)
- «**VLA**» — «Very Large Array» («Сверхбольшая антенная решетка»)
- «**TELIS**» — «Terahertz and submillimeter Limb Sounder» («Терагерцовый и субмиллиметровый зонд бокового сканирования»)
- «**URSI**» — «The International Union of Radio Science» («Международный радиотехнический союз»)
- «**WMAP**» — «Wilkinson Microwave Anisotropy Probe» (космический аппарат НАСА, предназначенный для изучения реликтового излучения)
- «**WSSPD**» — «Waveguide Superconducting Single Photon Detector» («Волноводные сверхпроводящие однофотонные детекторы»)

Список литературы

1. 100 лет радио: сборник статей / Под ред. В.В. Мигулина, А.В. Гороховского. — М.: Радио и связь, 1995. — 384 с.
2. 50 лет волн Герца / Сб. под ред. и со вступительной статьей В.К. Аркадьева. — М.: Изд. АН СССР, 1938. — 156 с.
3. 70 лет радио. Научно-технический сборник / Под ред. А.Д. Фортушенко. — М.: Связьиздат, 1965. — 338 с.
4. Академик А.Л. Минц в воспоминаниях сотрудников / Сост. и отв. А.Б. Шмелев. — М.: ОАО «Радиотехнический институт имени академика А.Л. Минца», 2005. — 208 с. (История РТИ — дела и люди / Сб. трудов. — Вып. 5.)
5. Академик Л.И. Мандельштам. К 100-летию со дня рождения / Под ред. С.М. Рытова. — М.: Наука, 1979. — 314 с.
6. Академик Л.И. Мандельштам: сб. статей. — М.: Знание, 1980. — 64 с.
7. Аксенов Е.П., Есипов В.Ф., Зельдович Я.Б. и др. Памяти Иосифа Самуиловича Шкловского // УФН. — 1985. — Т. 146. — Вып. 4. — С. 718–720.
8. Акулов Н.С. Ферромагнетизм. — М.–Л.: ГИТТЛ, 1939. — 188 с.
9. Александр Ярошевский: еврей всегда звучало и звучит гордо. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://evreiskiy.kiev.ua/aleksandr-yaroshevskij-evrej-vsegda-7400.html>.
10. Александров М.С., Бакленева З.М., Добряк Д.С. и др. Дистанционное наблюдение за развитием грозовой деятельности // Метроном. — 1994. — № 1–2. — С. 59.
11. Алексеев Т.В. Разработка и производство промышленностью Петрограда-Ленинграда средств связи для РККА в 20–30-е годы XX века: дис. ... канд. ист. наук: 07.00.02. — СПб., 2007. — 213 с.
12. Алферов Ж.И. Выгоду от науки получает тот, кто тратится на нее. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://izborsk-club.ru/4307>.
13. Андреев Ф.М. Основоположник импульсной радиолокации дальнего обнаружения воздушных целей // Universitates. — 2014. — № 1(56). — С. 54–65.
14. Андронов А.А. И.А. Вышнеградский и его роль в создании теории автоматического регулирования // Известия АН СССР, ОТН. — 1949. — № 6. — С. 805–

818.

15. Андронов А.А. Иван Алексеевич Вышнеградский (1831–1895). — В кн.: Люди русской науки. Очерки о выдающихся деятелях естествознания и техники. — Т. 2. — М.–Л.: ОГИЗ, Гостехиздат, 1948. — С. 931–941.

16. Андронов А.А. Л.И. Мандельштам и теория нелинейных колебаний // Известия АН СССР, сер. физ. — 1945. — Т. 9. — № 1–2. — С. 30–35.

17. Андронов А.А. Математические проблемы теории автоколебаний. — В кн.: I. Всесоюзная конференция по колебаниям. Доклады, резолюции и материалы конференции. Сб. 1. — М.–Л.: ГТТИ, 1933. — С. 32–71.

18. Андронов А.А. Собрание трудов. — М.: Изд-во АН СССР, 1956. — 538 с.

19. Андронов А.А. Теория точечных преобразований Пуанкаре — Брауера — Биркгофа и теория нелинейных колебаний // Вестник АН СССР. — 1944. — № 6. — С. 100–101.

20. Андронов А.А., Баутин Н.Н. Движение нейтрального самолета, снабженного автопилотом, и теория точечных преобразований поверхностей // ДАН. — 1944. — Т. 43. — № 5. — С. 197–201.

21. Андронов А.А., Баутин Н.Н. О влиянии кулоновского трения в золотнике на процесс непрямого регулирования (Подготовлено Н.Н. Баутиным после смерти А.А. Андропова) // Известия. АН СССР, ОТН. — 1955. — № 7. — С. 34–48.

22. Андронов А.А., Баутин Н.Н. Стабилизация курса нейтрального самолета автопилотом с постоянной скоростью сервомотора и зоной нечувствительности // ДАН. — 1945. — Т. 46. — № 4. — С. 158–161.

23. Андронов А.А., Баутин Н.Н., Горелик Г.С. Автоколебания простейшей схемы, содержащей автоматический винт изменяемого шага // ДАН. — 1945. — Т. 47. — № 4. — С. 265–268.

24. Андронов А.А., Баутин Н.Н., Горелик Г.С. Теория непрямого регулирования с учетом сухого трения в чувствительном элементе // Автоматика и телемеханика. — 1946. — Т. 7. — № 1. — С. 15–41.

25. Андронов А.А., Витт А.А. К математической теории автоколебательных систем с двумя степенями свободы // ЖТФ. — 1934. — Т. 4. — Вып. 1. — С. 122–143.

26. Андронов А.А., Витт А.А. К математической теории захватывания // Журнал прикладной физики. — 1930. — Т. 7. — Вып. 4. — С. 3–20.

27. Андронов А.А., Витт А.А. К теории захватывания Ван дер Поля (1930 г.). — В кн.: Андронов А.А. Собрание трудов. — М.: Изд-во АН СССР, 1956. — С. 51–64.
28. Андронов А.А., Витт А.А. Об устойчивости по Ляпунову // ЖЭТФ. — 1933. — Т. 3. — Вып. 5. — С. 373–374.
29. Андронов А.А., Витт А.А. Разрывные периодические решения и теория мультивибратора Абрагама и Блоха // ДАН. — 1930. — № 8. — С. 189–192.
30. Андронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний. — 2-е изд. / Переработка и дополнения Н.А. Железцова. — М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит., 1959. — 912 с.
31. Андронов А.А., Вознесенский И.Н. О работах Д.К. Максвелла, И.А. Вышнеградского и А. Стодолы в области регулирования машин. — В кн.: Теория автоматического регулирования (Линеаризированные задачи). Максвелл Д.К., Вышнеградский И.А. и Стодола А.М. — М.: Изд-во АН СССР, 1949. — С. 253–301.
32. Андронов А.А., Горелик Г.С. О резонансных явлениях при движении релятивистской частицы в циклотроне // ДАН СССР. — 1945. — Т. 49. — № 9. — С. 664–666.
33. Андронов А.А., Горелик Г.С. Радиофизика и общая динамика машин // Известия вузов «Радиофизика». — 1958. — № 1. — С. 5–13.
34. Андронов А.А., Леонтович Е.А. Лаплас. Жизнь и мировоззрение. Место в истории науки. — М.: «Московский рабочий», 1930. — 192 с.
35. Андронов А.А., Леонтович М.А. К теории молекулярного рассеяния света на поверхности жидкости // Z. Phys. — 1926. — Bd. 38. — S. 485–501.
36. Андронов А.А., Леонтович М.А. О колебаниях системы с периодически меняющимися параметрами // ЖРФХО, ч. физ. — 1927. — Т. 59. — Вып. 5–6. — С. 429–442.
37. Андронов А.А., Леонтович М.А., Мандельштам Л.И. К теории адиабатических инвариантов // ЖРФХО, ч. физ. — 1927. — Т. 59. — Вып. 5–6. — С. 429–442.
38. Андронов А.А., Любина А.Г. Применение теории Пуанкаре о «точках бифуркации» и «смене устойчивостей» к простейшим автоколебательным системам // ЖЭТФ. — 1935. — Т. 5. — Вып. 3–4. — С. 296–309.
39. Андронов А.А., Майер А.Г. Задача Вышнеградского в теории прямого регулирования, I (теория регулятора Уатта при наличии кулоновского и вязкого трения)

// Автоматика и телемеханика. — 1947. — Т. 8. — № 5. — С. 314–334.

40. Андронов А.А., Майер А.Г. Задача Мизеса в теории прямого регулирования и теория точечных преобразований поверхностей // ДАН. — 1944. — Т. 43. — № 2. — С. 58–62.

41. Андронов А.А., Майер А.Г. О задаче Вышнеградского в теории прямого регулирования // ДАН. — 1945. — Т. 47. — № 5. — С. 345–348.

42. Андронов А.А., Неймарк Ю.И. О движениях идеальной модели часов, имеющей две степени свободы. Модель догалилеевских часов // ДАН. — 1946. — Т. 51. — № 1. — С. 17–20.

43. Андронов А.А., Понтрягин Л.С. Грубые системы // ДАН. — 1937. — Т. 14. — № 5. — С. 247–250.

44. Андронов А.А., Понтрягин Л.С., Витт А.А. О статистическом рассмотрении динамических систем // ЖЭТФ. — 1933. — Т. 3. — Вып. 3. — С. 165–180.

45. Андронов А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний. Ч. 1. — М.–Л.: ОНТИ, Гл. ред. техн.-теор. лит., 1937. — 519 с.

46. АРАН. Ф. 1622. Оп. 1. № 71. Л. 1–10.

47. АРАН. Ф. 1622. Оп. 1. № 92. Л. 1–8.

48. АРАН. Ф. 1652. Оп. 1. № 209. Л. 1.

49. АРАН. Ф. 1652. Оп. 1. № 43. Л. 1–29.

50. АРАН. Ф. 1794. Оп. 1. № 33. Л. 1, 1об.

51. АРАН. Ф. 1810. Оп. 1. № 11. Л. 1–12.

52. АРАН. Ф. 1810. Оп. 1. № 12. Л. 1–7.

53. АРАН. Ф. 1810. Оп. 1. № 3. Л. 1, 2.

54. АРАН. Ф. 1810. Оп. 1. № 691. Л. 1–18.

55. АРАН. Ф. 1810. Оп. 1. Д. 15. Л. 1–20.

56. АРАН. Ф. 1938. Оп. 1 Д. 113. Л. 1–16.

57. АРАН. Ф. 1938. Оп. 1 Д. 54. Л. 1.

58. АРАН. Ф. 1938. Оп. 1. Д. 55. Л. 1–11.

59. АРАН. Ф. 1938. Оп. 1. № 113. Л. 1–16.

60. АРАН. Ф. 1938. Оп. 1. № 162. Л. 1–5.

61. АРАН. Ф. 1938. Оп. 1. № 164. Л. 1–3.

62. АРАН. Ф. 1938. Оп. 1. № 168. Л. 1–11.

63. АРАН. Ф. 1938. Оп. 1. № 214. Л. 1–3.
64. АРАН. Ф. 1938. Оп. 1. № 520. Л. 1–4.
65. АРАН. Ф. 600. Оп. 1. № 216.
66. АРАН. Ф. 600. Оп. 1. № 217. Л. 1–30.
67. АРАН. Ф. 600. Оп. 1. № 311.
68. АРАН. Ф. 600. Оп. 1. № 314. Л. 1.
69. АРАН. Ф. 600. Оп. 2. № 1.
70. АРАН. Ф. 600. Оп. 4. № 9.
71. АРАН. Ф. 600. Оп. 4. № 92. Л. 1–40.
72. АРАН. Ф. 607. Оп. 3. № 25. Л. 4–5.
73. АРАН. Ф. 607. Оп. 6. № 120. Л. 1–25.
74. АРАН. Ф. 607. Оп. 6. № 174а. Л. 1–22.
75. АРАН. Ф. 641. Оп. 1. № 326.
76. АРАН. Ф. 641. Оп. 3. № 92. Л. 1, 1об.
77. АРАН. Ф. 641. Оп. 5. № 21. Л. 1–12.
78. АРАН. Ф. 641. Оп. 6. № 132. Л. 1–4.
79. Аркадьев В.К. Александра Андреевна Глаголева-Аркадьева (1884–1945) // УФН. — 1946. — Т. 29. — Вып. 1–2. — С. 213–217.
80. Аркадьев В.К. Два способа вычисления скин-эффекта в ферромагнетиках. — В кн.: Практические проблемы электромагнетизма. — М.–Л.: Изд. АН СССР, 1939. — С. 19–42.
81. Аркадьев В.К. Лаборатория электромагнетизма им. Максвелла (1919–1939). — М.: Издание Московского государственного университета, 1940. — 30 с.
82. Аркадьев В.К. Магнитная спектроскопия // Труды ГЭЭИ. — 1924. — Вып. 4. — 80 с.
83. Аркадьев В.К. Московская магнитная лаборатория (1920–1924). Доклад, читанный 10 мая 1925 года на открытом заседании «Магнитного Коллоквиума», посвященном пятилетию деятельности Магнитной Лаборатории. — М.: Издание физического кружка «Магнитный Коллоквиум», 1925. — 16 с.
84. Аркадьев В.К. О магнитных спектрах и методах их получения // ЖРФХО, ч. физ. — 1924. — Т. 56. — Вып. 4. — С. 321–330.
85. Аркадьев В.К. Отражение электрических волн от проволок // ЖРФХО, физ.

отд. — 1913. — Т. 45. — Вып. 2. — С. 46–60.

86. Аркадьев В.К. Поглощение электрических волн в параллельных проволоках // ЖРФХО, физ. отд. — 1912. — Т. 44. — Вып. 4. — С. 165–200.

87. Аркадьев В.К. Сочинения: Избранные труды. — М.: Изд-во АН СССР, 1961. — 332 с.

88. Аркадьев В.К. Теория электромагнитного поля в ферромагнитном металле // ЖРФХО, физ. отд. — 1913. — Т. 45. — Вып. 6. — С. 312–345.

89. Аркадьев В.К. Фиксация на бумаге электрических волн и ее теоретические основы // ЖЭТФ. — 1937. — Т. 7. — Вып. 1. — 87–137.

90. Аркадьев В.К. Электромагнитные процессы в металлах. Часть I. Постоянное электрическое и магнитное поле. — М.: ОНТИ; Л.: Глав. ред. энергет. лит., 1934. — 230 с.

91. Аркадьев В.К. Электромагнитные процессы в металлах. Часть II. Электромагнитное поле. — М.: ОНТИ; Л.: Глав. ред. энергет. лит., 1936. — 303 с.

92. Арманд Н.А., Кессених А.В. Борис Алексеевич Введенский — физик, радиоинженер, энциклопедист, человек // История науки и техники. — 2003. — № 7. — С. 2–16.

93. Арманд Н.А., Кессених А.В. О работах академика Б.А. Введенского по распространению радиоволн. — В кн.: Исследования по истории физики и механики, 2003. — М. Наука, 2003. — С. 235–252.

94. Арцимович Л.А. Развитие физики в СССР. В двух книгах. — М.: Наука, 1967. — 452 с.

95. Ахманов С.А., Бункин Ф.В., Виноградов А.Г. и др. Сергей Михайлович Рытов (К семидесятилетию со дня рождения) // УФН. — 1978. — Т. 125. — Вып. 3. — С. 571–572.

96. Бажитова Л.И. Воспоминания о РОБТиТе // Электросвязь: история и современность». — 2008. — № 3. — С. 24–26.

97. Бартенев В.Г. Завещание академика Ю.Б. Кобзарева // Вестник Концерна ВКО Алмаз-Антей. — 2016. — № 1. — С. 126–131.

98. Бартенев В.Г. Когерентная обработка радиолокационных сигналов: история, состояние и перспективы // Электросвязь: история и современность. — 2014. — № 3. — С. 27–31.

99. Бартенев В.Г., Кобзарев Г.Ю. Дмитрий Аполлинариевич Рожанский — выдающийся ученый-радиофизик // Электросвязь: история и современность. — 2014. — № 2. — С. 44–46.
100. Басалаев М.И., Берг А.И., Бурштейн Э.Л. и др. Памяти Александра Львовича Минца // УФН. — 1975. — Т. 116. — Вып. 1. — С. 165–167.
101. Баутин Н.Н. Динамическая теория часов: Стабилизация периода в колебательных системах с двумя степенями свободы. — М.: Наука, 1986. — 192 с.
102. Баутин Н.Н. О числе предельных циклов, появляющихся при изменении коэффициентов из состояния равновесия типа фокуса или центра // Математический сборник. — 1952. — Т. 30. — № 1. — С. 181–196.
103. Бахтина Е.Ю., Смык А.Ф., Ильин В.А. Современный информационный инструмент для историко-научных исследований // Новое слово в науке: перспективы развития. — 2016. — № 1–1 (7). — С. 40–44.
104. Башаринов А.Е., Флейшман Б.С. Методы статистического последовательного анализа и их приложения. — М.: Советское радио, 1962. — 352 с.
105. Бендриков Г.А., Сидорова Г.А. Александр Адольфович Витт // История и методология естественных наук. Вып. XXVI. Физика. — М.: Изд-во МГУ, 1981. — С. 150–168.
106. Берковиц Р.С. Современная радиолокация. Анализ, расчет и проектирование систем / Под ред. Ю.Б. Кобзарева. — М.: Советское радио, 1969. — 699 с.
107. Берштейн И.Л. Флуктуации в автоколебательной системе и определение естественной размытости частоты лампового генератора // ЖТФ. — 1941. — Т. 11. — № 4. — С. 305–316.
108. Блохинцев Д.И. Рецензия на книгу «Что такое силы инерции». — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://ufn.ru/ufn41/ufn41_2/Russian/r412k.pdf.
109. Боев С.Ф., Слока В.К. Супер-РЛС стратегического назначения — вершины отечественного и мирового радиостроения. — В кн.: 110 лет радио. Сб. статей / Под ред. Ю.В. Гуляева, М.А. Быховского. — М.: Радиотехника, 2005. — С. 181–197.
110. Бойко Е.С. Александр Александрович Андронов (1901–1952). — М.: Наука, 1991. — 256 с.
111. Бойко Е.С. Школа академика А.А. Андропова. — М.: Наука, 1983. — 200 с.
112. Болотовский Б.М. Оливер Хевисайд (глава девятнадцатая). — [Электронный

- ресурс]. — Режим доступа: http://vivovoco.astronet.ru/VV/BOOKS/HEAVISIDE/CHAPTER_19.HTM.
113. Болотовский Б.М. Семинар Гинзбурга. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://berkovich-zametki.com/2006/Starina/Nomer5/Bolotovskiy1.htm>.
114. Большие успехи НРЛ. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.computer-museum.ru/connect/nnovlab.htm>.
115. Борис Алексеевич Введенский. Материалы к биобиблиографии ученых СССР. Серия физики, вып. 4. — М.–Л.: Изд. АН СССР, 1950. — 27 с.
116. Борисов В.П. Из истории отечественной радиоэлектроники. — М.: ИИЕТ РАН, 2010. — 208 с.
117. Борисов В.П. Сергей Аркадьевич Векшинский (1896–1974). — 2-е изд. — М.: Интелвак, 2002. — 176 с.
118. Бренев И.В. Центральная радиолaborатория в Ленинграде. — М.: Советское радио, 1973. — 272 с.
119. Быховский М.А. Академик А.Л. Минц и развитие в СССР радиовещания, ускорительной техники и систем ракетно-космической обороны // Электросвязь: история и современность. — 2005. — № 1. — С. 2–12.
120. Быховский М.А. Круги памяти. Очерки истории развития радиосвязи и вещания в XX столетии. — М.: МЦНТИ, 2001. — 224 с.
121. Быховский М.А. Пионеры информационного века. История развития теории связи. — М.: ЗАО «РИЦ «Техносфера», 2006. — 376 с.
122. Введенский Б.А. Графики дифракционного поля ультракоротких волн за линией видимости для вертикальной поляризации // Изв. АН СССР. ОТН. — 1942. — № 1/2. — С. 3–18.
123. Введенский Б.А. Графическое определение дифракционного поля ультракоротких волн при горизонтальной поляризации // Изв. АН СССР. ОТН. — 1942. — № 6. — С. 60–64.
124. Введенский Б.А. О дифракционном распространении радиоволн // ЖТФ. — 1936. — Т. 6. — Вып. 1. — С. 163–176; Вып. 2. — С. 1837–1847; 1937. — Т. 7. — Вып. 16. — С. 1647–1657.
125. Введенский Б.А. О зависимости скорости размагничивания железа от намагничивания и температуры // Труды ГЭЭИ. — 1921. — Вып. 6. — С. 60–65.

126. Введенский Б.А. О приеме на рамку с генератором незатухающих колебаний без катушки связи // ТиТбп. — 1920. — № 8. — С. 189–194.
127. Введенский Б.А. О скорости размагничивания железа // Научн. Изв. Гос. Изд. — 1922. — Вып. III. — С. 156–200.
128. Введенский Б.А. Основы теории распространения радиоволн. Распространение в однородной атмосфере. — М.–Л.: Гостехиздат, 1934. — 227 с.
129. Введенский Б.А. Распространение ультракоротких волн. — М.: Наука, 1973. — 408 с.
130. Введенский Б.А. Расчет поверхностного эффекта в ферромагнитных цилиндрах с магнитной проводимостью. — В кн.: Исследования по электромагнетизму. — М.: НТО ВСНХ, 1925. — С. 39–49.
131. Введенский Б.А. Токи Фуко при апериодических процессах в железе // ЖРФХО, ч. физ. — 1923. — Т. 55. — Вып. 1–2. — С. 1–12.
132. Введенский Б.А. Физические явления в катодных лампах. — М.: Изд. ЦК ж.-д., 1924. — 164 с.
133. Введенский Б.А., Аренберг А.Г. Влияние тропосферы на устойчивость приема ультракоротких радиоволн // УФН. — 1944. — Т. 26. — Вып. 1. — С. 1–44.
134. Введенский Б.А., Аренберг А.Г. Вопросы распространения ультракоротких волн. Часть 1. — М.: Советское радио, 1948. — 144 с.
135. Введенский Б.А., Аренберг А.Г. Радиоволноводы. — М.–Л.: Гостехтеоретиздат, 1946. — 191 с.
136. Введенский Б.А., Аренберг А.Г. Распространение ультракоротких волн. — М.: Связьтехиздат, 1934. — 183 с.
137. Введенский Б.А., Аренберг А.Г. Распространение ультракоротких волн. — М.: Связьрадиоиздат, 1938. — 284 с.
138. Введенский Б.А., Аренберг А.Г. Рефракция ультракоротких радиоволн в «невозмущенной» тропосфере // УФН. — 1941. — Т. 25. — Вып. 3. — С. 273–309.
139. Введенский Б.А., Арманд Н.А., Калинин А.И. и др. Дальнее тропосферное распространение ультракоротких радиоволн // Радиотехника и электроника. — 1961. — Т. 6. — № 6. — С. 867–885.
140. Введенский Б.А., Астафьев А.В., Аренберг А.В. О радиосвязи на ультракоротких волнах // Вестник теоретической и экспериментальной электротехники.

— 1928. — № 12. — С. 447–451.

141. Введенский Б.А., Астафьев А.В., Аренберг А.Г. К вопросу о распространении ультракоротких волн // Вестник теоретической и экспериментальной электротехники. — 1928. — № 12. — С. 439–446.

142. Введенский Б.А., Колосов М.А., Соколов А.В. Исследования распространения метровых, дециметровых, сантиметровых и субмиллиметровых радиоволн // Радиотехника и электроника. — 1967. — Т. 12. — № 11. — С. 1867–1890.

143. Введенский Б.А., Ландсберг Г.С. Современное учение о магнетизме. — М.–Л.: Госиздат, 1929. — 328 с.

144. Введенский Б.А., Пономарев М.И. Применение методов геометрической оптики для определения траектории ультракоротких радиоволн в неоднородной атмосфере // Изв. АН СССР. ОТН. — 1946. — № 96. — С. 1201–1210.

145. Введенский Б.А., Пономарев М.И. Советская радиофизика за 30 лет // УФН. — 1947. — Т. XXXIII. — Вып. 3. — С. 318–334.

146. Введенский Б.А., Ржевкин С.Н. Прерывистый триодный генератор, его теория и применение // ТиТбп. — 1921. — № 11. — С. 67–81.

147. Ведущие научные школы России / Совет по грантам Президента Российской Федерации. — Вып. 1. — М.: Изд-во «Янус-К», 1998. — 622 с.

148. Визгин В.П. Научно-школьный подход к истории отечественной физики // Годичная научная конференция (2013). Институт истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН. Т. 1. — М.: ЛЕНАНД, 2013. — С. 418–421.

149. Визгин В.П. Физика в Москве / В.П. Визгин; отв. ред. В.М. Орел // Москва научная. — М.: Янус-К, 1997. — С. 185–211.

150. Визгин В.П., Кессених А.В. Научно-школьный подход к истории отечественной физики // История науки и техники. — 2016. — № 1. — С. 3–23.

151. Виткевич В.В. Результаты наблюдений распространения радиоволн через солнечную корону // Астрономический журнал. — 1955. — Т. 32. — С. 106–120.

152. Витт А.А., Хайкин С.Э. Захватывание при малых амплитудах внешней силы // ЖТФ. — 1931. — Т. 1. — № 5. — С. 428–434.

153. Витт А.А., Хайкин С.Э., Майзельс Е.Н. Прямой метод измерения напряженности поля передающих станций // Известия электропромышленности слабого тока. — 1933. — № 3. — С. 1–7.

154. Воспоминания об академике Б.А. Введенском (к 100-летию со дня рождения). — М.: ИРЭ РАН, 1993. — 44 с.
155. Г.С. Горелик, А.А. Витт. Колебания упругого маятника как пример колебаний двух параметрически связанных линейных систем // ЖТФ. — 1933. — Т. III. — Вып. 2–3. — С. 294–306.
156. Гапонов-Грехов А.В. И в XXI веке в авангарде будет физика // Вестник РАН. — 2003. — Т. 73. — № 1. — С. 28–32.
157. Гапонов-Грехов А.В. Теорема существования. Размышления о науке и обществе. — Н. Новгород: ИПФ РАН, 2001. — 159 с.
158. Гапонов-Грехов А.В., Рабинович М.И. Л.И. Мандельштам и современная теория нелинейных колебаний и волн // УФН. — 1979. — Т. 128. — Вып. 4. — С. 579–624.
159. Гаузе Г.Ф., Витт А.А. О периодических колебаниях численности популяции: математическая теория релаксационного взаимодействия между хищниками и жертвами и ее применение к популяции двух простейших // Известия АН СССР, VII сер. — 1934. — Т. 10. — С. 1551–1559.
160. Гинзбург В.Л. О физике и астрофизике. — М.: Наука, 1985. — 400 с.
161. Гинзбург В.Л. Распространение электромагнитных волн в плазме. — 2-е изд., перераб. — М.: Наука, 1967. — 685 с.
162. Глаголева-Аркадьева А.А. Массовый излучатель как источник ультрагерцевых волн до 82 микронов // Телеграфия и телеофония без проводов. — 1924. — № 23. — С. 113–114.
163. Глаголева-Аркадьева А.А. Метод получения наиболее коротких электромагнитных волн. — В кн.: Труды Третьего съезда Российской ассоциации физиков в Н. Новгороде 17–21 сентября 1922 г. — Н. Новгород, 1923. — С. 39, 40.
164. Глаголева-Аркадьева А.А. Новая шкала электромагнитных волн // УФН. — 1926. — Т. 6. — № 3. — С. 216–241.
165. Глущенко А.А. Место и роль радиотехники в модернизации России (1900–1917 гг.). — СПб.: НИИХ СПбГУ, 2002. — 852 с.
166. Гольцман Г.Н., Ильин В.А., Кудрявцев В.В. Радиофизическая научная школа и ее основатель Евгений Михайлович Гершензон (к 80-летию со дня рождения) // История науки и техники. — 2009. — № 9. — С. 10–23.

167. Гончаров В.Б. Русское общество беспроводных телеграфов и телефонов (РОБТиТ) // *Электросвязь: история и современность*. — 2008. — № 3. — С. 21–23.
168. Горелик А.Г. Воспоминания о жизни и творчестве отца // *Успехи современной радиоэлектроники*. — 2006. — № 11. — С. 6–10.
169. Горелик А.Г., Коломиец С.Ф. Рассеяние радиоволн разреженной средой и статистическая радиометеорология // *Научный вестник МГТУ ГА, сер. «Радиофизика и радиотехника»*. — 2007. — № 117. — С. 7–29.
170. Горелик Г.Е. Леонид Мандельштам и его школа (к 125-летию Леонида Исааковича Мандельштама) // *Вестник РАН*. — 2004. — Т. 74. — № 10. — С. 932–945.
171. Горелик Г.Е. Не успевшие стать академиками // *Природа*. — 1990. — № 1. — С. 123–128.
172. Горелик Г.С. Интерференция, диффракция, спектральное разложение в оптике и радио // *УФН*. — 1948. — Т. XXXVI. — Вып. 3. — С. 407–415.
173. Горелик Г.С. К вопросу о технической и естественной ширине линии лампового генератора // *ЖЭТФ*. — 1950. — Т. 20. — Вып. 4. — С. 351–355.
174. Горелик Г.С. К теории запаздывающей обратной связи // *ЖТФ*. — 1939. — Т. IX. — Вып. 5. — С. 450–454.
175. Горелик Г.С. К теории суперрегенеративного приемника // *ЖТФ*. — 1933. — Т. III. — Вып. 1. — С. 110–130.
176. Горелик Г.С. Колебания и волны. Введение в акустику, радиофизику и оптику: Учеб. пособие / Под. ред. С.М. Рытова. — 2-е изд. — М.: Физматлит, 1959. — 572 с.
177. Горелик Г.С. Колебания нелинейных систем, близких к линейным системам с периодически меняющимися параметрами // *ЖТФ*. — 1938. — Т. VIII. — Вып. 5. — С. 453–460.
178. Горелик Г.С. Нелинейные колебания, интерференция и флуктуации // *Известия АН СССР, сер. физ.* — 1950. — Т. XIV. — № 2. — С. 187–198.
179. Горелик Г.С. Несколько замечаний о стиле научного творчества Н.Д. Папалекси // *Известия АН СССР, сер. физ.* — 1948. — Т. XII. — № 1. — С. 22–24.
180. Горелик Г.С. О влиянии корреляции скоростей рассеивателей на статистические свойства рассеянного излучения // *Радиотехника и электроника*. — 1957. — Т. 2. — Вып. 10.

181. Горелик Г.С. О демодуляционном анализе света // УФН. — 1948. — Т. XXXIV. — Вып. 3. — С. 321–333.
182. Горелик Г.С. О некоторых магнитных спектрах преобразования // Известия АН СССР, сер. физ. — 1950. — Т. XIV. — № 2. — С. 174–186.
183. Горелик Г.С. О параметрической связи между стоячими акустическими волнами в газах // ЖТФ. — 1935. — Т. V. — Вып. 8. — С. 1436–1439.
184. Горелик Г.С. Об одном возможном методе исследования быстроты обмена энергией между степенями свободы молекул газа // ДАН СССР. — 1946. — Т. LIV. — № 9. — С. 783–785.
185. Горелик Г.С. Памяти А.А. Андропова // УФН. — 1953. — Т. XLIX. — Вып. 3. — С. 449–468.
186. Горелик Г.С. Радиопизика и теория автоматического регулирования // Известия АН СССР, сер. физ. — 1947. — Т. XI. — № 2. — С. 103–115.
187. Горелик Г.С. Резонансные явления в линейных системах с периодически меняющимися параметрами // ЖТФ. — 1934. — Т. 4. — Вып. 10. — С. 1783–1817; 1935. — Т. 5. — Вып. 2. — С. 196–215; 1935. — Т. 5. — Вып. 3. — С. 490–517.
188. Горелик Г.С., Боровицкий С.И. Гетеродинамирование света // УФН. — 1956. — Т. LIX. — Вып. 3. — С. 543–552.
189. Горелик Г.С., Гинц Г.М. Исследование суперрегенеративного приемника метровых волн // Техника радио и слабого тока. — 1932. — № 12. — С. 645–660.
190. Горелик Г.С., Горонина К.А., Жукова И.С. Об изменении кривой продольного намагничивания ферромагнитной проволоки под действием текущего по ней постоянного тока // ДАН СССР. — 1944. — Т. 44. — № 6. — С. 257–260.
191. Горская Н.В., Локтева М.Б. Личность в науке. Г.С. Горелик. Документы жизни. — Н. Новгород: ННГУ, 2006. — 304 с.
192. Горская Н.В., Локтева М.Б. Личность в науке. В.С. Троицкий. Документы жизни. — Н. Новгород: ННГУ, 2008. — 255 с.
193. Горская Н.В., Митякова Э.Е., Берент Т.А. Личность в науке. В.Л. Гинзбург. Документы жизни. — Н. Новгород: ННГУ, 2010. — 160 с.
194. Горская Н.В., Митякова Э.Е., Локтева М.Б. Личность в науке. М.Т. Грехова. — Н. Новгород: ННГУ, 1999. — 140 с.
195. Горская Н.В., Митякова Э.Е., Московченко О.И. и др. Личность в науке. А.А.

Андронов. — Н. Новгород: ННГУ, 2001. — 288 с.

196. Грабовский С.В. А.А. Глаголева-Аркадьева. 120 лет со дня рождения. Люди физфака // Советский физик. — 2004. — № 5(41).

197. Грезнева О.Ю. Научные школы (педагогический аспект). — М.: Институт теории образования и педагогики РАО, 2003. — 69 с.

198. Гриффит Б.Ч., Маллинз Н.Ч. Социальные группировки в развитии науки. — М.: Прогресс, 1976. — 438 с.

199. Грэхем Л. Сможет ли Россия конкурировать? История инноваций в царской, советской и современной России. — М.: ООО «Манн, Иванов и Фербер», 2014. — 290 с.

200. Грэхэм Л. Очерки истории российской и советской науки. — М.: Янус-К, 1998. — 312 с.

201. Дагкесаманский Р.Д. Пушинская радиоастрономическая обсерватория Астрокосмического центра ФИАН: вчера, сегодня и завтра // УФН. — 2009. — Т. 179. — № 11. — С. 1225–1235.

202. Данилов Ю.А. Из лекций по нелинейной динамике. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://sinsam.kirsoft.com.ru/KSNews_145.htm.

203. Дежина И.Г., Киселева В.В. Тенденции развития научных школ в современной России. — М.: ИЭПП, 2009. — 164 с.

204. Демидов С.С., Ормигон М. (ред). Историко-математические исследования. — Вторая серия, специальный выпуск. — Сборник научных статей. — М.: Янус-К, 1997. — 140 с.

205. Дмитриев И.С. Научные школы: новые историко-научные исследования // ВИЕТ. — 1996. — Вып. 1. — С. 130–136.

206. Документальный фильм к 50-летию радиофизического факультета Нижегородского Университета им. Лобачевского. — ТК «Волга», 1995. РФ СЛФ.

207. Дорфман Я.Г. Всемирная история физики (с начала XIX до середины XX вв.). — М.: Наука, 1979. — 317 с.

208. Дуков В.М. Электродинамика (история и методология макроскопической электродинамики). — М.: Высшая школа, 1975. — 248 с.

209. Емельянова И.С. Красота мышления вслух // Математика в высшем образовании. — 2015. — № 13. — С. 95–104.

210. Есепкина Н.А., Корольков Д.В., Парийский Ю.Н. Радиотелескопы и

радиометры / Под ред. Д.В. Королькова. — М.: Наука, 1973. — 416 с.

211. Естественен, как сама Природа: об академике Михаиле Александровиче Леонтовиче. — М.: Наука, 2005. — 368 с.

212. Жекулин С.А. Распространение электромагнитного импульса в ионизированной среде // Известия АН СССР, ОТН. — 1938. — № 7. — С. 91–101.

213. Железцов Н.А., Родыгин Л.В. К теории симметричного мультивибратора // ДАН. — 1951. — Т. 81. — № 3. — С. 391–392.

214. Жутяева Т.С. Академик Богомолов — руководитель, наставник, учитель (К 95-летию со дня рождения) // Радиотехнические тетради. — 2009. — № 38. — С. 13–17.

215. Замечательные ученые / Под ред. С.П. Капицы. — М.: Наука, 1980. — 192 с.

216. Зейтленок Г.А. К теории самовозбуждения катодного генератора // Телефония и телеграфия без проводов. — 1928. — № 3(48). — С. 348–362.

217. Зейтленок Г.А. Нестационарное состояние катодного генератора в момент его включения // Телефония и телеграфия без проводов. — 1929. — № 10(52). — С. 47–53.

218. Золин В.Ф. Мои воспоминания // Успехи современной радиоэлектроники. — 2006. — № 11. — С. 71–72.

219. Золотинкина Л.И., Митрофанов А.В. Имант Георгиевич Фрейман — выдающийся ученый и педагог // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Серия «История науки, образования и техники». — 2004. — № 1. — С. 60–67.

220. Золотинкина Л.И., Шошков Е.Н. Имант Георгиевич Фрейман. — Л.: Наука, 1989. — 144 с.

221. Золотинкина Л.И. Профессор Имант Георгиевич Фрейман — основатель отечественной научно-инженерной школы радиотехники // История науки и техники. — 2016. — № 2. — С. 73–95.

222. Золотинкина Л.И., Скрицкий Н.В. Н.А. Скрицкий — радиоинженер, ученый, педагог // Электросвязь: история и современность. — 2006. — № 2. — С. 25–29.

223. Иверонова В.И., Кайдановский Н.Л., Леонтович М.А. и др. Семен Эммануилович Хайкин // УФН. — 1969. — Т. 97. — № 2. — С. 367–370.

224. Из воспоминаний А.Г. Любиной о Г.С. Горелике. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.rf.unn.ru/rus/mus/lyubina/gorelic_about.html.

225. Из истории изобретения и начального периода развития радиосвязи: Сб. док.

и материалов / Сост. Л.И. Золотинкина, Ю.Е. Лавренко, В.М. Пестриков; под ред. проф. В.Н. Ушакова. — Спб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ» им В.И. Ульянова (Ленина), 2008. — 288 с.

226. Из истории развития радиоастрономии в СССР. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.astronet.ru/db/msg/1174018/5_3.htm.

227. Из предыстории радио: Сб. оригинальных статей и материалов / Под ред. Л.И. Мандельштама. — М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1948. — 475 с.

228. Ильин В.А., Кудрявцев В.В. История и методология физики: учебник для магистров. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательство Юрайт, 2014. — С. 410–474.

229. Ильин В.А., Кудрявцев В.В. История радиофизики. Модульный курс для магистров: учебное пособие. — М.: Изд-во МПГУ, 2017. — 320 с.

230. Илюшин А.С., Кессених А.В. Изгнание с родного факультета (из биографии С.Э. Хайкина) // Годичная научная конференция ИИЕТ РАН. — 2009. — С. 272–275.

231. Илясов Ю.П. Уникальные радиотелескопы метровых волн (история создания). — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.prao.ru/History/history_4.html.

232. Иммант Георгиевич Фрейман. Избранные труды / Сост. Л.И. Золотинкина; под ред. В.Н. Ушакова. — Спб.: Изд-во «Пропаганда», 2015. — 340 с.

233. Исповедь академика Юрия Борисовича Кобзарева. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://ra3dhl.livejournal.com/12592.html>

234. Исследования по истории физики и механики. 2014–2015. Институт истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН / Отв. ред. Вл.П. Визгин. — М.: Янус-К, 2016. — 508 с.

235. История кафедры магнетизма Московского университета. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://magn.ru/Rus/info.html>.

236. История кафедры радиоэлектронных средств. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.eltech.ru/ru/fakultety/fakultet-radiotehniki-i-telekommunikacij/sostav-fakulteta/kafedra-radioelektronnyh-sredstv/istoriya-kafedry>.

237. История РТИ — дела и люди / Сб. трудов. — М.: ОАО «Радиотехнический институт имени академика А.Л. Минца». — Вып. 1 — 1999. — 142 с; Вып. 2 — 2000. — 148 с; Вып. 3 — 2001. — 124 с; Вып. 4 — 2001. — 184 с.

238. История создания РЛС дальнего обнаружения баллистических ракет и

космических объектов — перспективы сотрудничества. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.arms-expo.ru/news/archive/istoriya-sozdaniya-rls-dal-nego-obnaruzheniya-ballisticheskikh-raket-i-kosmicheskikh-ob-ektov---perspektivy-sotrudnichestva05-04-2008-05-11-00/>.

239. К исследованию феномена советской физики 1950–1960-х гг. Социокультурные и междисциплинарные аспекты / Сост. и ред. В.П. Визгин, А.В. Кессених, А.В. Томилин. — СПб.: РХГА, 2014. — 560 с.

240. К обсуждению книги С.Э. Хайкина «Механика» // УФН. — 1950. — Т. XL. — № 3. — С. 476–490.

241. Казанцев А.Н. Распределение электронной плотности в ионосфере на линии Москва — Хабаровск. Построение карт ионизации // Известия АН СССР, ОТН. — 1938. — № 4. — С. 3–20.

242. Кайдановский Н.Л. К истории радиотелескопа РАТАН-600. — СПб.: ИПА, 1995. — 8 с.

243. Кайдановский Н.Л. О контактах с Иосифом Самуиловичем Шкловским. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.astronet.ru/db/msg/1174018/1_2.htm.

244. Кайдановский Н.Л. Профессор Семен Эммануилович Хайкин, 1901–1968. СПб.: ИПА, 1995. — 29 с.

245. Кайдановский Н.Л. Семен Эммануилович Хайкин // Земля и Вселенная. — 1969. — № 1. — С. 57–60.

246. Кайдановский Н.Л. У истоков радиоастрономии // ИАИ. — 1986. — Вып. XVIII. — С. 17–40.

247. Калинин В.И., Герштейн Г.М. Введение в радиофизику. — М.: ГИТТЛ, 1957. — 660 с.

248. Капица С.П. Жизнь науки. — М.: Издательский Дом ТОНЧУ, 2008. — 592 с.

249. Кардашев Н.С. Радиовселенная // УФН. — 2007. — Т. 177. — № 5. — С. 553–558.

250. Карлов Н.В. Основные этапы сосания лапы. Препринт. — М.: Московский физико-технический ин-т (гос. ун-т): Центр гуманитарного образования МФТИ «Петр Великий», 2003. — 100 с.

251. Карпов В.Г. Профессор И.Г. Фрейман — выдающийся советский

радиотехник // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. — 2015. — № 2. — С. 3–9.

252. Карпов Е.А. А.Т. Углов — радиоинженер, изобретатель, организатор // Электросвязь: история и современность. — 2006. — № 3–4. — С. 29–30.

253. Кессених А.В. Понятие о научных школах в физике в различных контекстах // Годичная научная конференция (2013). Институт истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН. Т. 1. — М.: ЛЕНАНД, 2013. — С. 336–339.

254. Киселев А. «Русского Эдисона» звали Александр Алексеевич Чернышев. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.electronics.ru/journal/article/1669>.

255. Климин А.И., Урвалов В.А. Фердинанд Браун — лауреат нобелевской премии в области физики (к 150-летию со дня рождения) // Электросвязь. — 2000. — № 8.

256. Кляцкин И.Г. Излучение вертикального заземленного провода // Телефония и телеграфия без проводов. — 1927. — № 40.

257. Кобзарев Ю.Б. К теории лампового генератора с двумя степенями свободы // Радиотехника. — 1950. — Т. 5. — № 2. — С. 41.

258. Кобзарев Ю.Б. К теории резонанса деления // ЖТФ. — 1935. — Т. 5. — С. 518.

259. Кобзарев Ю.Б. К теории резонансного усилителя // Научно-технический сб. Электротехнического института связи. — 1936. — № 13. — С. 25–32.

260. Кобзарев Ю.Б. К теории систем, содержащих линии задержки // Труды НИИ. — 1954. — Вып. 16. — С. 29.

261. Кобзарев Ю.Б. Кварцевые осцилляторы // Вестник теоретической и экспериментальной электротехники. — 1928. — № 10. — С. 396–402.

262. Кобзарев Ю.Б. Нестационарные процессы в синхронизируемом ламповом генераторе // Вестник НИИ. — 1954. — Вып. 16. — С. 14.

263. Кобзарев Ю.Б. О квазилинейном методе трактовки явлений в генераторе почти синусоидальных колебаний // ЖТФ. — 1935. — Т. 5. — С. 216–249.

264. Кобзарев Ю.Б. О расчете ламповых генераторов // Изв. АН СССР. — 1943. — Т. VII. — № 3. — С. 30–37.

265. Кобзарев Ю.Б. О регенеративном приеме // Вестник электротехники. — 1931. — № 11–12. — С. 346–351.

266. Кобзарев Ю.Б. О флюктуациях сигналов пассивных помех // Труды НИИ. — 1954. — Вып. 15, 16. — С. 63–69.
267. Кобзарев Ю.Б. Особенности кварцевых резонаторов // Журнал прикладной физики. — 1929. — Т. VI. — Вып. 6. — С. 99–102.
268. Кобзарев Ю.Б. Параметры пьезо-кварцевых резонаторов // Журнал прикладной физики. — 1929. — Т. VI. — Вып. 2. — С. 17–37.
269. Кобзарев Ю.Б. Первые шаги советской радиолокации // Природа. — 1985. — № 12. — С. 72–82.
270. Кобзарев Ю.Б. Создание отечественной радиолокации: научные труды, мемуары, воспоминания / Сост. Б.Г. Кутуза, Г.Ю. Кобзарев. — М.: Наука, 2007. — 503 с.
271. Кобзарев Ю.Б., Александров М.С., Бакленева З.М. и др. Исследование помех естественного происхождения в диапазоне ОНЧ / Отв. ред. В.А. Котельников // Проблемы современной радиотехники электроники. — М.: Наука, 1987. — 264 с.
272. Кобзарев Ю.Б., Полякова Н.Л. Д.А. Рожанский и становление радиофизики // Природа. — 1983. — № 3. — С. 72–79.
273. Кобзарев Ю.Б., Сена Л.А., Тучкевич В.М. Дмитрий Аполлинариевич Рожанский // УФН. — 1982. — Т. 138. — Вып. 4. — С. 675–678.
274. Коган В.И., Кузнецова Л.К., Новиков В.Д. Академик Леонтович М.А. Ученый. Учитель. Гражданин. — М.: Наука, 2003. — 511 с.
275. Козлов В.И. Владимир Константинович Аркадьев. Серия «Выдающиеся ученые физического факультета МГУ». — Вып. XIII. — М.: Физический факультет МГУ, 2008. — 100 с.
276. Колосов М.А., Арманд Н.А., Яковлев О.И. Распространение радиоволн при космической связи / Под ред. Б.А. Введенского. — М.: Связь, 1969. — 155 с.
277. Корзухина А.М. От просвещения к науке: Физика в Московском и С.-Петербургском университетах во второй половине XIX в. — начале XX в. — Дубна: Феникс+, 2006. — 264 с.
278. Криворученко В.К. Научные школы — важнейший фактор развития современной науки. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.zpu-journal.ru/e-zpu/2011/2/Krivoruchenko_Scholar_Schools/.
279. Кугушев А.М. Радиоэлектроника // УФН. — 1959. — Т. LXVII. — Вып. 4. — С. 663–703.

280. Кудрявцев В.В. История отечественной радиофизики как эволюция научных школ // EUROPEAN RESEARCH: сборник статей XIV Международной научно-практической конференции. В 2 ч. Ч. 1. — Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». — 2018. — С. 11–14.

281. Кудрявцев В.В. Научно-школьный подход как эффективный инструмент изучения истории отечественной радиофизики // II Всероссийская научно-методическая конференция «Физико-математическое образование: проблемы и перспективы» (Казанский федеральный университет, Елабужский институт, 7–9 декабря 2017 г.). — С. 285–288.

282. Кудрявцев В.В. Применение научно-школьного подхода к истории отечественной радиоастрономии (в сб. Исследования по истории физики и механики. 2014–2015. ИИЕТ им. С.И. Вавилова РАН; отв. ред. Вл.П. Визгин). — М.: Янус-К, 2016. — С. 314–348.

283. Кудрявцев В.В., Ильин В.А. Избранные вопросы истории радиофизики. Т. I. — М.: ООО Издательство «Научтехлитиздат», 2011. — 276 с.

284. Кудрявцев В.В., Ильин В.А. Избранные вопросы истории радиофизики. Т. II. Современные достижения. — М.: ООО Издательство «Научтехлитиздат», 2014. — 112 с.

285. Кудрявцев В.В., Ильин В.А. Изучение истории радиофизики с точки зрения историка науки и преподавателя вуза // История науки и техники. — 2012. — № 3. — С. 2–10.

286. Кудрявцев В.В., Ильин В.А. История радиофизики — важнейшее направление в истории физики // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. — 2012. — № 2 (22). — С. 170–184.

287. Кудрявцев В.В., Ильин В.А. История радиофизики в контексте Нобелевской премии // История науки и техники. — 2009. — № 10. — С. 8–25.

288. Кудрявцев В.В., Ильин В.А. Научные школы в области теории нелинейных колебаний // История науки и техники. — 2016. — № 1. — С. 46–68.

289. Кудрявцев В.В., Ильин В.А. Поволжье — кузница научных школ в отечественной радиофизике // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. — 2014. — № 2 (30). — С. 169–179.

290. Кудрявцев П.С. Курс истории физики. — 2-е изд. — М.: Просвещение, 1982. — 448 с.

291. Кудрявцев П.С. Курс истории физики. — М.: Просвещение, 1974. — 312 с.
292. Кузнецов А.П., Селиверстова Е.С., Трубецков Д.И. и др. Феномен уравнения Ван дер Поля // Известия вузов «ПНД». — Т. 22. — № 4. — 2014. — С. 3–42.
293. Кузнецов Б.Г. Эволюция основных идей электродинамики. — 2-е изд. — М.: ЛЕНАНД, 2016. — 296 с.
294. Кузнецов Ю.И., А.С. Логгинов, Минакова И.И. Владимир Васильевич Мигулин. — Серия «Выдающиеся ученые физического факультета МГУ». — Вып. XI. — М.: Физический факультет МГУ, 2006. — 92 с.
295. Кузнецов Ю.И., Минакова И.И. Казимир Францевич Теодорчик. — Серия «Выдающиеся ученые физического факультета МГУ». — Вып. VII. — М.: Физический факультет МГУ, 2003. — 86 с.
296. Кун Т. Структура научных революций / Пер. с англ. И.З. Налетова. Общая ред. и послесловие С.Р. Микулинского и Л.А. Марковой. — М.: Прогресс, 1975. — 288 с.
297. Куперштох Н.А. Научные школы России и Сибири: проблемы изучения // Философия науки. — 2005. — № 2(25). — С. 93–106.
298. Курицына Н.Н., Лосич Н.И., Шошков Е.Н. Российское общество радиоинженеров (1918–1929 гг.). — СПб.: НТОРЭС, 1993. — 58 с.
299. Кутуза Б.Г., Яковлев О.И., Данилычев М.В. Спутниковый мониторинг Земли: Микроволновая радиометрия атмосферы и поверхности. Монография. — М.: Ленанд, 2016. — 336 с.
300. Лакатос И. Фальсификация и методология научно-исследовательских программ. — М.: «Медиум», 1995. — 236 с.
301. Ланда П.С. Применение и развитие идей Витта в современной теории колебаний. — В кн.: Исследования по истории физики и механики. 2003. — М.: Наука, 2003. — С. 126–130.
302. Ландсберг Г.С. Элементарный учебник физики. Т. 1. Механика. Теплота. Молекулярная физика. — М.: Наука, 1985. — 606 с.
303. Ланцберг Г.С. Академик Юрий Борисович Кобзарев: К 90-летию со дня рождения // Электросвязь. — 1995. — № 10. — С. 39.
304. Лауреату Нобелевской премии по физике Жоресу Алферову исполняется 85 лет — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://news.ifmo.ru/ru/news/4662/>.

305. Лауреаты Нобелевской премии: Энциклопедия. Кн. 1. А–Л / Отв. ред. Е.Ф. Губский и др.; пер. с англ. — М.: Прогресс, 1992 . — 740 с.
306. Лауреаты Нобелевской премии: Энциклопедия. Кн. 2. М–Я / Отв. ред. Е.Ф. Губский и др.; пер. с англ. — М.: Прогресс, 1992 . — 853 с.
307. Левин А.С. Итоги семилетнего функционирования программы поддержки ведущих научных школ и туманные перспективы ее дальнейшего существования // Акустика неоднородных сред. Сборник трудов семинара научной школы проф. С.А. Рыбака. — М.: Российское акустическое общество, 2002. — 151 с.
308. Левин М.Л., Рытов С.М. Теория равновесных тепловых флуктуаций в электродинамике. — М.: Наука, 1967. — 308 с.
309. Левин М.Л., Рытов С.М., Шафранов В.Д. О работах М.А. Леонтовича в области электродинамики // УФН. — 1983. — Т. 139 — Вып. 4. — С. 667–671.
310. Левшин Л.В. Деканы физического факультета московского университета. — М.: Физический факультет МГУ, 2002. — 274 с.
311. Лезин А.В., Сергеев Э.А., Яценко В.В. Из истории создания отечественных флотских научно-исследовательских учреждений радиосвязи (1923–1932) // Радиоэлектроника и связь. — 1991. — № 2–3 (4–5). — С. 50–56.
312. Леонтович М.А. Введение в термодинамику. Статистическая физика. — М.: Наука, 1983. — 416 с.
313. Леонтович М.А. О приближенных граничных условиях для электромагнитного поля на поверхности хорошо проводящих тел. — В кн.: Исследования по распространению радиоволн, сб. 2. — М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1948. — С. 5–12.
314. Леонтович М.А. Об одном методе решения задач о распространении электромагнитных волн // Известия АН СССР. — 1944. — Т. 8. — № 16. — С. 16–22.
315. Леонтович М.А., Левин М.Л. К теории возбуждения колебаний в вибраторах антенн // ЖТФ. — 1944. — Т. 14. — № 9. — С.481–506.
316. Леонтович М.А., Фок В.А. Решение задачи о распространении электромагнитных волн вдоль поверхности земли по методу параболического уравнения // ЖЭТФ. — 1946. — Т. 16. — № 7. — С. 557–573.
317. Лешковцев В.А. 50 лет советской физики. — М.: Знание, 1968. — 48 с.
318. Литвак А.Г. Золотой век нижегородской науки (интервью с С.П. Капицей) //

В мире науки. — 2012. — № 4. — С. 8–13.

319. Лобанов М.М. Из прошлого радиолокации. — М.: Воениздат, 1969. — 212 с.

320. Лобанов М.М. Начало советской радиолокации. — М.: Советское радио, 1975. — 288 с.

321. Лобанов М.М. Развитие советской радиолокационной техники. — М.: Воениздат, 1982. — 239 с.

322. Локтева М.Б. Семья, жизнь, судьба // Нижегородская коллекция. — 2013. — № 2(6). — С. 54–57.

323. Лонгинов А.С., Стариков В.И. Золотая медаль имени А.С. Попова (очерки об ученых). — М.: Знание, 1980. — 64 с.

324. М.А. Миллер о А.Г. Любиной. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.rf.unn.ru/rus/mus/lyubina/miller.html>.

325. Максвелл Дж.К. Избранные сочинения по теории по теории электромагнитного поля / пер. З.А. Цейтлина; под ред. П.С. Кудрявцева. — М.: Гостехиздат, 1952. — 688 с.

326. Малов Н.Н. Владимир Константинович Аркадьев (1884–1953) // УФН. — 1954. — Т. LII. — Вып. 3. — С. 459–469.

327. Малов Н.Н. Измерение проницаемости ферромагнетиков в многопеременных магнитных полях // Журнал прикладной физики. — 1929. — № 6.

328. Мандельштам Л.И. К теории передатчика Брауна (1904 г.). — В кн.: Мандельштам Л.И. Полное собрание трудов: т. 1 / Под ред. С.М. Рытова. — М.: Изд-во АН СССР, 1948. — С. 91–100.

329. Мандельштам Л.И. Лекции по колебаниям (1930–1932 гг.). — М.: Изд-во АН СССР, 1955. — 504 с.

330. Мандельштам Л.И. Об одном методе объективного изображения колебательных процессов в простых и связанных конденсаторных контурах (1907 г.). — В кн.: Мандельштам Л.И. Полное собрание трудов: т. 1 / Под ред. С.М. Рытова. — М.: Изд-во АН СССР, 1948. — С. 147–153.

331. Мандельштам Л.И. Полное собрание трудов: в 5 т. / Под ред. С.М. Рытова, М.А. Леонтовича; вступ. ст. Н.Д. Папалекси. — М.: Изд-во АН СССР, 1947–1955.

332. Мандельштам Л.И., Папалекси Н.Д. О скорости распространения радиоволн // УФН. — 1944. — Т. 26. — Вып. 2. — С. 144–168.

333. Мандельштам Л.И., Папалекси Н.Д. О явлениях резонанса n рода // ЖТФ. — 1932. — Т. II. — Вып. 7–8. — С. 775–811.

334. Мандельштам Л.И., Папалекси Н.Д. Об одном методе измерения логарифмического декремента и частоты электромагнитных колебательных систем (1910 г.). — В кн.: Мандельштам Л.И. Полное собрание трудов: т. 1 / Под ред. С.М. Рытова. — М.: Изд-во АН СССР, 1948. — С. 203–204.

335. Мандельштам Л.И., Папалекси Н.Д. Об одном методе получения сдвинутых по фазе быстрых колебаний (1906 г.). — В кн.: Мандельштам Л.И. Полное собрание трудов: т. 1 / Под ред. С.М. Рытова. — М.: Изд-во АН СССР, 1948. — С. 101–108.

336. Мандельштам Л.И., Папалекси Н.Д., Андронов А.А. и др. Новые исследования нелинейных колебаний. — М.: Гос. изд-во по вопросам радио, 1936. — 96 с.

337. Мандельштам Леонид Исаакович. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://letopis.msu.ru/peoples/977>.

338. Матвеев В.И. П.К. Ощепков. К 100-летию со дня рождения // Контроль. Диагностика. — 2008. — № 2. — С. 3–7.

339. Меллер Г. Электронные лампы и их применения / Пер. с 3-го немец. изд. под редакцией проф. С.Э. Хайкина. — М.–Л.: ГТТИ, 1934. — 251 с.

340. Мельникова О.М. Научные школы в археологии: дис. ... д-ра ист. наук: 07.00.06. — М., 2014. — 470 с.

341. Месяц Г.Е. О научных школах в России и США. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://msk.treko.ru/show_article_88.

342. Мигулин В.В. Л.И. Мандельштам и исследования по радиоинтерферометрии // УФН. — 1979. — Т. 128. — Вып. 4. — С. 667–680.

343. Мигулин В.В. Л.И. Мандельштам и становление советской физики // Природа. — 1979. — № 5. — С. 44–54.

344. Мигулин В.В. Н.Д. Папалекси (к столетию со дня рождения) // УФН. — 1981. — Т. 134. — Вып. 3. — С. 518–526.

345. Микаэлян А.А. Пистолькорс А.А. — выдающийся ученый XX века в области радиотехники и связи (штрихи к портрету) // Электросвязь: история и современность. — 2005. — № 3. — С. 21–26.

346. Милантьев В.П. История и методология физики. — М.: РУДН, 2007. — 352

с.

347. Миллер М.А. Избранные очерки о зарождении и взрослении радиофизики в горьковско-нижегородских местах. — Н. Новгород: Издательство ИПФ РАН, 1997. — 224 с.

348. Минц А.Л. 500-кВт радиостанция. — М.: Связьтехиздат, 1934. — 51 с.

349. Минц А.Л. Избранные труды. Радиотехника и мощное радиостроительство. — М.: Наука, 1976. — Т. 1. — 296 с.

350. Минц А.Л. Избранные труды. Радиотехника и ускорители заряженных частиц. — М.: Наука, 1976. — Т. 2. — 264 с.

351. Минц А.Л. Избранные труды. Статьи, выступления, воспоминания. — М.: Наука, 1987. — 240 с.

352. Минц А.Л., Васильев А.А., Бурштейн Э.Л. Кибернетический ускоритель на энергию в 1000 ГэВ. НТД-632Р. — М.: АН СССР, Радиотехнический институт, 1963. — 26 с.

353. Минц А.Л., Кляцкин И.Г. Основания для расчета модуляции на аноде. — М.-Л.: Воениздат, 1926. — 36 с.

354. Минц А.Л., Кляцкин И.Г. Основания для расчета модуляции на сетке. — М.: Воен.-техн упр. УС РККА, 1929. — 55 с.

355. Минц А.Л., Невяжский И.Х., Поляков Б.И. Некоторые особенности и основные данные высокочастотной системы шестиметрового фазотрона // Радиотехника и электроника. — 1956. — Т. 1. — Вып. 7. — С. 893–902.

356. Минц А.Л., Оганов Н.И. Мощные разборные генераторные лампы // Известия электропромышленности слабого тока. — 1935. — № 10. — С. 47–51.

357. Минц А.Л., Рубчинский С.М., Весбейн М.М. и др. Системы управления процессами инжекции и ускорения частиц в синхрофазотроне — 1956. — Т. 1. — Вып. 7. — С. 974–985.

358. Мирская Е.З. Научные школы как форма организации науки. Социологический анализ проблемы // Науковедение. — 2002. — № 3 (15). — С. 8–24.

359. Мирская Е.З. Научные школы: история, проблемы и перспективы // Науковедение и новые тенденции в развитии российской науки; под ред. А.Г. Аллахвердяна, Н.Н. Семенович, А.В. Юревича. — М.: Логос, 2005. — 308 с.

360. Михаил Васильевич Шулейкин — основатель инженерной радиотехники. —

[Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://radiolamp.net/news/270-mikhail-vasilevich-shulejkin-osnovatel-inzhenernoj-radiotexniki.html>.

361. Михаил Васильевич Шулейкин: сборник статей / под ред. Б.А. Введенского. — М.: Советское радио, 1952. — 134 с.

362. Михайлишина Г.Ф., Ильин В.А., Кудрявцев В.В. История современности — неотъемлемая часть истории физики // История науки и техники. — 2010. — № 7. — С. 10–17.

363. Михайлов В. А. Научно-исследовательский институт «Вектор» — старейшее радиотехническое предприятие России. 1908–1998 гг. — СПб.: СПб.: Федеральное государственное унитарное предприятие Научно-исследовательский институт «Вектор», 2000. — 290 с.

364. Мотова М.И., Шалфеев В.Д. К истории научной школы А.А. Андропова // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. — 2011. — № 5(3). — С. 15–21.

365. Музрукова Е.Б., Фандо Р.А. (ред.). Научные школы в отечественной биологии XX века и их трансформация в условиях социокультурных явлений. — М.: ИИЕТ РАН, 2007. — 231 с.

366. Мухин Р.Р. Очерки по истории динамического хаоса: исследования в СССР в 1950–1980-е годы. — 2-е изд., перераб. — М.: URSS, 2012. — 320 с.

367. Наука по-американски: очерки истории / пер. с англ.; предисл. Д.А. Александрова. — М.: Новое литературное обозрение, 2014. — 624 с.

368. Научное сообщество физиков СССР. 1950–1960-е гг.: документы, воспоминания, исследования — Вып. 1 / Сост. и ред. В.П. Визгина и А.В. Кессениха. — СПб.: РХГА, 2005. — 720 с.

369. Научное сообщество физиков СССР. 1950–1960-е и другие годы: документы, воспоминания, исследования. Вып. 2 / Сост. и ред. В.П. Визгин и А.В. Кессених. — СПб.: РХГА, 2007. — 752 с.

370. Неймарк Ю.И. Метод точечных отображений в теории нелинейных колебаний. — М.: Наука, 1972. — 472 с.

371. Неймарк Ю.И. Сухой остаток: К истории в лицах научной школы А.А. Андропова. — Н. Новгород: Нижегородский гуманитарный центр, 2000. — 143 с.

372. Неймарк Ю.И., Фуфаев Н.А. Динамика неголономных систем. — М.: Наука,

Физматлит, 1967. — 520 с.

373. Никитин Н.А. Нижегородская радиолaborатория имени В.И. Ленина. — М.: Связьиздат, 1954. — 124 с.

374. НРЛ — технопарк в оригинале. От идеи — до воплощения / Сост. Т.И. Ковалева, Ш.Д. Китай, М.В. Мишанова, Е.Н. Емельянова. — Н. Новгород: ННГУ им. Н.И. Лобачевского, 2008. — 102 с.

375. О радиофизическом факультете. Из истории факультета. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.rf.unn.ru/rus/general/history.html>.

376. Основы радиофизики / Белокопытов Г.В., Ржевкин К.С. и др.; под ред. А.С. Логгинова. — М.: УРСС, 1996. — 256 с.

377. Остроумов Б.А. В.И. Ленин и Нижегородская радиолaborатория. — Л.: Наука, 1967. — 407 с.

378. Отечественная радиоэлектроника. Биографическая энциклопедия. Том 1. — М.: Институт экономики информационных технологий РАСУ и ОАО «ЦНИИ «Электроника», 2002. — 544 с.

379. Отечественная радиоэлектроника. Биографическая энциклопедия. Том 2. — М. 2004. — 488 с.

380. Ощепков П.К. Современные проблемы развития техники противовоздушной обороны // Противовоздушная оборона: сб. 2. — 1934. — С. 23–28.

381. Павельева Т.Ю. Научные школы в системе науки: философский анализ: дис. ... д-ра филос. наук: 09.00.08. — М., 2012. — 353 с.

382. Памяти Александра Александровича Андропова. — М.: Изд-во АН СССР, 1955. — 718 с.

383. Памяти Андрея Владимировича Францессона // Радиотехника и электроника. — 2004. — Т. 49. — № 5. — С. 639–640.

384. Папалекси Н.Д. Воздействие на авто- и потенциально-автоколебательные системы (1933 г.). — В кн.: Папалекси Н.Д. Собрание трудов / Под ред. С.М. Рытова. — М.: Изд-во АН СССР, 1948. — С. 102–132.

385. Папалекси Н.Д. Краткий очерк жизни и научной деятельности Леонида Исааковича Мандельштама // УФН. — 1945. — Т. XXVII. — Вып. 2. — С. 143–158.

386. Папалекси Н.Д. Леонид Исаакович Мандельштам (краткий очерк жизни и научной деятельности) // Л.И. Мандельштам. Полн. собр. тр. — М.: Изд-во АН СССР,

1948. — Т. 1. — С. 7–66. Дополнен «Кратким очерком о деятельности за последние годы», написанным Г.С. Ландсбергом, М.А. Леонтовичем, И.Е. Таммом, С.М. Рытовым и Г.С. Гореликом.

387. Папалекси Н.Д. О некоторых применениях радиоинтерференционных методов // Известия АН СССР, сер. физ. — 1938. — № 4. — С. 539–550.

388. Папалекси Н.Д. Об измерении расстояния от Земли до Луны с помощью электромагнитных волн // УФН. — 1946. — Т. XXIX. — Вып. 3–4. — С. 250–268.

389. Папалекси Н.Д. Параметрическое генерирование переменных токов // Электричество. — 1938. — № 11. — С. 67–76.

390. Папалекси Н.Д. Резонанс параметрический (1933 г.). — В кн.: Папалекси Н.Д. Собрание трудов / Под ред. С.М. Рытова. — М.: Изд-во АН СССР, 1948. — С. 133–142.

391. Папалекси Н.Д. Собрание трудов / Под ред. С.М. Рытова. — М.: Изд-во АН СССР, 1948. — 428 с.

392. Папалекси Н.Д. Эволюция понятия резонанса // УФН. — 1947. — Т. XXXI. — Вып. 4. — С. 447–460.

393. Папалекси Н.Д., Андронов А.А., Горелик Г.С. и др. Некоторые исследования в области нелинейных колебаний, проведенные в СССР, начиная с 1935 г. // УФН. — 1947. — Т. XXXIII. — Вып. 3. — С. 335–352.

394. Парийский Ю.Н., Шиврис О.Н. Методы радиоастрономического использования РАТАН-600 // Известия ГАО. — 1972. — № 188. — С. 13–39.

395. Паршаков А.Н. Современное введение в физику колебаний: Учебное пособие. — Долгопрудный: Изд. дом «Интеллект», 2013. — 240 с.

396. Пестриков В.М. Искровые радиостанции Российской империи // IT news. — 2007. — № 15(88). — С. 24–28.

397. Пестриков В.М. Одесские радиолампы Папалекси // Telecommunication Sciences. — 2011. — Vol. 2. — № 2. — С. 68–70.

398. Пестриков В.М. Продолжатель дела А.С. Попова — друг Г. Маркони. К 115-летию крупнейшего ученого-радиотехника дореволюционной России С.М. Айзенштейна // Радиолюбби. — 1999. — № 4. — С. 2–3.

399. Пестриков В.М. Русские радиолампы: первые конструкции и научные исследования // Радиолюбби. — 2010. — № 4. — С. 2–5.

400. Петровский А.А. Тридцатилетие радио // УФН. — 1925. — Т. 5. — Вып. 1–2. — С. 138–142.
401. Печенкин А.А. Л.И. Мандельштам. Исследование, преподавание и остальная жизнь. — М.: Логос, 2011. — 334 с.
402. Пиковский А.С., Розенблюм М.Т. Синхронизация: от наблюдения к теории. — В кн.: Исследования по истории физики и механики. 2003. — М.: Наука, 2003. — С. 130–139.
403. Понтрягин Л.С. Жизнеописание Л.С. Понтрягина, математика, составленное им самим. Рождения 1908 г., Москва. — М.: «Прима В», 1998. — 340 с.
404. Попов Р.М. Совет по радиолокации // Электронная техника. Серия 1: СВЧ-техника. — 2008. — № 2(495). — С. 62–80.
405. Постановление Правительства РФ от 26.09.1995 № 957 «О государственной поддержке ведущих научных школ Российской Федерации».
406. Потемкин В.В. Радиофизика: учебное пособие. — М.: Изд-во МГУ, 1988. — 264 с.
407. Практические проблемы электромагнетизма / Под ред. В.К. Аркадьева. — М.: Изд. ОТН Академии наук, 1939. — 84 с.
408. Премия имени академика А.Л. Минца. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.rti-mints.ru/premiya-mints/>.
409. Проблемы ферромагнетизма и магнетодинамики / Сб. статей под ред. В.К. Аркадьева. — М.: Изд. ОТН Академии наук, 1946. — 175 с.
410. Проблемы электротехнического металла // Сб. статей под ред. В.К. Аркадьева. — М.–Л.: Изд. ОТН АН, 1938. — 151 с.
411. Профессор И.Г. Фрейман — основатель отечественной школы радиотехники. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.eltech.ru/ru/fakultety/fakultet-radiotehniki-i-telekommunikaciy/sobytiya/yubiley-freymana>.
412. Пуанкаре А. О кривых определяемых дифференциальными уравнениями / Пер. с фр. Е.А. Леонтович, А.Г. Майер и др.— М.–Л.: ГИТТЛ, 1947. — 385 с.
413. Рабинович М.И., Трубецков Д.И. Введение в теорию колебаний и волн. — Ижевск: РХД, 2000. — 560 с.
414. Рагульский А.М. О людях науки с одинаковым отношением к жизни (к 100-летию доклада Лебедева о давлении света) // УФН. — 2011. — Т. 181. — № 3. — С. 307–

318.

415. Рагульский В.В. О людях науки (Часть 2) // Советский физик. — 2012. — № 1(92). — С. 29–35.

416. Рагульский В.В. Самый замечательный человек среди ученых (к 130-летию со дня рождения Л.И. Мандельштама) // УФН. — 2009. — Т. 179. — № 11. — С. 1245–1251.

417. Радиотехника: энциклопедия / Под ред. Ю.Л. Мазора, Е.А. Мачусского, В.И. Правды. — М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2002. — 944 с.

418. Развитие радиоастрономии в СССР / Л.М. Гиндилис, Р.Д. Дагкесаманский, А.Д. Кузьмин и др. — М.: Наука, 1988. — 222 с.

419. Ретро радиоэлектроника на лампах и транзисторах. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://radiolamp.net/>.

420. Реутов А.П. Радиолокация в годы войны. К 60-летию Великой Победы // Электросвязь: история и современность. — 2005. — № 3. — С. 33–35.

421. Ржевкин С.Н. Колебания связанных контуров, из которых один содержит равномерно распределенную емкость и индуктивность // Телефония и телеграфия без проводов. — 1921. — № 9. — С. 342–351.

422. Рогинский В.Ю. Михаил Александрович Бонч-Бруевич. — М.–Л.: Наука, 1966. — 157 с.

423. Родак М.И. Воспоминания о Габриэле Семеновиче Горелике // Успехи современной радиоэлектроники. — 2006. — № 11. — С. 69–70.

424. Родак М.И., Францессон А.В. О применении теории турбулентности к рассеянию радиоволн на блуждающих неоднородностях // Радиотехника и электроника. — 1959. — Т. 4. — Вып. 3.

425. Родионов В.М. Зарождение радиотехники. — М.: Наука, 1985. — 240 с.

426. Рожанский Д.А. Влияние искры на колебания индуктивно связанных вибраторов // ЖРФХО. Часть физ. — 1912. — Т. 44. — Вып. 7. — Разд. 1. — С. 359–376.

427. Рожанский Д.А. Возникновение коротковолновых незатухающих колебаний внутри катодной лампы // ДАН. Сер. А. — 1927. — № 23. — С. 403–404.

428. Рожанский Д.А. К теории резонансных кривых // Вестник военной радиотелеграфии и электротехники. — 1917. — № 4/5. — С. 151–159.

429. Рожанский Д.А. Электрические лучи. — СПб.: Изд-во К.Л. Риккера, 1913. —

106 с.

430. Рожанский И.Д., Рожанская М.М., Филонович С.Р. Дмитрий Аполлинариевич Рожанский / Отв. ред. В.П. Визгин. — М.: Наука, 2003. — 159 с.

431. РОРИ — объединение радиоспециалистов. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.computer-museum.ru/connect/rori.htm>.

432. Рытов С.М. Введение в статистическую радиофизику. — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1966. — 404 с.

433. Рытов С.М. Введение в статистическую радиофизику. Часть I. Случайные процессы. — М.: Наука, 1976. — 484 с.

434. Рытов С.М. Дифракция света на ультразвуковых волнах // Известия АН СССР, сер. физ. — 1937. — Вып. 2. — С. 223–259.

435. Рытов С.М. Модулированные колебания и волны // Труды ФИАН. — 1940. — Вып. 1. — Т. 2. — С. 41–133.

436. Рытов С.М. Николай Дмитриевич Папалекси // УФН. — 1947. — Т. XXXI. — Вып. 4. — С. 428–446.

437. Рытов С.М. О Леониде Исааковиче Мандельштаме // УФН. — 1979. — Т. 129. — Вып. 2. — С. 279–288.

438. Рытов С.М. Памяти Г.С. Горелика // УФН. — 1957. — Т. LXII. — Вып. 4. — С. 485–496.

439. Рытов С.М. Памяти Габриэля Семеновича Горелика (1906–1957) // Успехи современной радиоэлектроники. — 2006. — № 11. — С. 4–5.

440. Рытов С.М. Теория электрических флуктуаций и теплового излучения. — М.: Изд-во АН СССР, 1953. — 232 с.

441. Рытов С.М., Кравцов Ю.А., Горышник Л.Л. Теория параметрических усилителей на полупроводниковых диодах // Научные труды РИАН СССР. — 1960. — Т. 2. — Вып. 3. — С. 3–160.

442. Рытов С.М., Кравцов Ю.А., Татарский В.И. Введение в статистическую радиофизику. Часть II. Случайные поля. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Наука, 1978. — 463 с.

443. Сабирова Ф.М. Развитие организационных форм физической науки (от античности до середины XX века). — Казань: Изд-во МОиН РТ. — 192 с.

444. Савельев В.П., Городецкий Ю.И., Любимцев Я.К. Юрий Исаакович Неймарк

// Известия вузов «ПНД». — 2005. — Т. 13. — № 3. — С. 10–12.

445. Сазонов В.В. Академик Александр Львович Минц. К 110-летию со дня рождения // «ИНФОРМОСТ: Радиоэлектроника и Телекоммуникации». — 2005. — № 1 (37). — С. 15–19.

446. Саломонович А.Е. Н.Д. Папалекси и советская радиоастрономия // УФН. — 1981. — Т. 134. — Вып. 3. — С. 541–550.

447. Саломонович А.Е. Оптика миллиметровых волн и радиоастрономия // УФН. — 1962. — LXXVII. — Вып. 4. — С. 589–596.

448. Саломонович А.Е. Первые шаги радиоастрономии // Вестник АН СССР. — 1973. — № 3. — С. 122–136.

449. Сергей Михайлович Рытов: Жизнь, воспоминания, интервью, записки, стихи, документы / Березанская В.М., Рытова Н.С., Гиппиус А.А. и др. — М.: ЛЕНАНД, 2012. — 552 с.

450. Слепьян Л.Б. Абсолютный метод измерения длины волны проф. Л.И. Мандельштама // ТиТбп. — 1918. — № 2.

451. Словарь радиолобителя // Под ред. Л.П. Крайзера и С.Э. Хайкина. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.; Л.: Энергия, 1966. — 740 с.

452. Сонин А.С. Газета «Красный флот» против идеализма в физике // Вестник РАН. — 1991. — Т. 61. — № 1. — С. 113–122.

453. Сони́на Д.Д. Александр Степанович Попов — наш земляк, наша гордость. — Пермь: Книжный мир, 2007. — 143 с.

454. Сороченко Р.Л. Радиоастрономия в Физическом институте им. П.Н. Лебедева: первые шаги. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://kik-sssr.ru/41E.8_Sorochenko.htm.

455. Социально-психологические проблемы науки / Под ред. М.Г. Ярошевского. — М.: Наука, 1973. — 250 с.

456. Спасский Б.И. История физики. Части I и II. Учебное пособие для вузов. — 2-е изд. перераб. и доп. — М.: Высшая школа, 1977. — 320 с.

457. Стрелков С.П. Введение в теорию колебаний: Учебник для вузов. — М.–Л.: Издательство: Гос. изд-во технико-теорет. лит., 1950. — 344 с.

458. Стрелков С.П. Маятник Фроуда // ЖТФ. — 1933. — Т. 3. — Вып. 4. — С. 563–573.

459. Стрелкова Л.П., Смыслов В.И. Сергей Павлович Стрелков. — Серия «Выдающиеся ученые физического факультета МГУ». — Вып. V. — М.: Физический факультет МГУ, 2002. — 108 с.
460. Стронгин Р.Г. Опередивший время: сборник статей, посвященный 100-летию со дня рождения О.В. Лосева. — Н. Новгород: Изд-во ННГУ, 2006. — 432 с.
461. Творцы российской радиотехники. Жизнь и вклад в мировую науку / Под ред. М.А. Быховского. — М.: Эко-Трендз, 2005. — 160 с.
462. Теодорчик К.Ф. Автоколебательные системы. — М.-Л.: ГИТТЛ, 1944. — 104 с.
463. Теодорчик К.Ф., Секерская Е.Н. Прибор для абсолютного измерения интенсивности звука по методу акустического захватывания // ЖТФ. — 1934. — Т. 6. — № 5. — С. 1009–1013.
464. Теодорчик К.Ф., Хайкин С.Э. Акустическое захватывание // ЖТФ. — 1932. — Т. 2. — № 1. — С. 111–118.
465. Тимошенко Д.А. «Мне с детских лет был близок Дон Кихот...». — М.: ОАО «РТИ имени академика А.Л. Минца», 2015. — 440 с.
466. Толковый словарь по радиофизике: основные термины (с эквивалентами на английском языке) / Под ред. Б.Н. Гершмана, А.Н. Малахова, Л.Т. Борисовой. — М.: Русский язык, 1993. — 357 с.
467. Торн К. Черные дыры и складки времени: Дерзкое наследие Эйнштейна. — М.: Физматлит, 2007. — 616 с.
468. Трубецков Д.И. Наука о сложностях в лицах, датах и судьбах: Как закладывались основы синергетики: Пиршество духа и драма идей. — М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2013. — 312 с.
469. Трубецков Д.И. Штрихи к портрету // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. — 2001. — № 5(3). — С. 22–29.
470. Уиттекер Э. История теории эфира и электричества. — Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. — 512 с.
471. Фандо Р.А. Формирование научных школ в отечественной генетике в 1930–1940-е гг. — М.: ИД И.И. Шумиловой, 2005. — 148 с.
472. Федорова Г.В., Щербаков Д.В. К истории вопроса о научных школах // Бюллетень сибирской медицины. — 2009. — № 4. — С. 86–92.

473. Фейнберг Е.Л. Распространение радиоволн вдоль земной поверхности. — 2-е изд. — М.: Физматлит, 1999. — 496 с.
474. Фейнберг Е.Л. Родоначальник (О Леониде Исааковиче Мандельштаме) // УФН. — 2002. — Т. 172. — № 1. — С. 91–108.
475. Фейнберг Е.Л. Становление радио в России. К 125-летию со дня рождения академика Н.Д. Папалекси // Вестник РАН. — 2006. — Т. 76. — № 2. — С. 148–155.
476. Фейнберг Е.Л. Эпоха и личность. Физики. Очерки и воспоминания. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Физматлит, 2003. — 416 с.
477. Феномен научных школ в отечественной физике. Часть I // История науки и техники. — 2016. — № 1. — 108 с.
478. Феномен научных школ в отечественной физике. Часть II // История науки и техники. — 2016. — № 2. — 104 с.
479. Физики о себе / Под ред. В.Я. Френкеля. — Л.: Наука, 1990. — 485 с.
480. Фок В.А. Проблемы диффракции и распространения электромагнитных волн. — М.: Советское радио, 1970. — 517 с.
481. Фортушенко А.Д. 50 лет радио. — М.: Связьиздат, 1945. — 88 с.
482. Фрейман И.Г. Курс радиотехники. — Л.: ГИЗ, 1924. — 342 с.
483. Фрейман И.Г. Курс радиотехники. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.–Л.: Госиздат, 1928. — 497 с.
484. Фрейман И.Г. О мощной радиовещательной станции для СССР // Электросвязь. — 1928. — № 5. — С. 3–7.
485. Фрейман И.Г. О процессе передачи электрической энергии // ТиТбп. — 1922. — № 16. — С. 624–633.
486. Фрейман И.Г. О формулах расчета распространения электромагнитных волн // ТиТбп. — 1927. — № 2(41). — С. 218–222.
487. Фрейман И.Г. Об измерении собственной длины волн радиосети // ТиТбп. — 1921. — № 11. — С. 28–33.
488. Фрейман И.Г. Об эволюции радиосети // Электричество. — 1925. — № 4. — С. 242–246.
489. Фрейман И.Г. Об эквивалентной схеме радиосети // ТиТбп. — 1922. — № 13. — С. 303–306.
490. Фрейман И.Г. Об эквивалентных постоянных радиосети // ТиТбп. — 1923.

— № 19. — С. 117–126.

491. Фрейман И.Г. Развитие учения о распространении электромагнитных волн // *ТиТбп.* — 1926. — № 3(36). — С. 237–246.

492. Хайкин С.Э. Затухание колебаний в пьезокварцах // *Журнал прикладной физики.* — 1928. — Т. 5. — № 3–4.

493. Хайкин С.Э. Исследование радиоизлучения Солнца Бразильской экспедицией АН СССР // *ДАН.* — 1947. — Т. 58. — № 9.

494. Хайкин С.Э. *Механика.* — М.-Л.: ГТТИ, 1940. — 371 с.

495. Хайкин С.Э. Незатухающие колебания. Серия «Массовая радиобиблиотека», выпуск 181. — М.-Л.: Госэнергоиздат, 1953. — 128 с.

496. Хайкин С.Э. О механизме вязкости жидкостей // *ЖЭТФ.* — 1936. — Т. 6. — № 4.

497. Хайкин С.Э. *Словарь радиолобителя.* Серия «Массовая радиобиблиотека», выпуск 131. — М.-Л.: Госэнергоиздат, 1952. — 316 с.

498. Хайкин С.Э. *Физические основы механики.* — М.: Физматгиз, 1963. — 772 с.

499. Хайкин С.Э. Что такое силы инерции. Физическое введение в механику. — М.-Л.: ГТТИ, 1939. — 120 с.

500. Хайкин С.Э., Бене Н.П. О явлении перегрева твердого тела // *ДАН.* — 1939. — Т. 23. — Вып. 1.

501. Хайкин С.Э., Кайдановский Н.Л. Механические релаксационные колебания // *ЖТФ.* — 1933. — Т. 3. — Вып. 1. — С. 91–107.

502. Хайкин С.Э., Кайдановский Н.Л., Есепкина Н.А. и др. Большой пулковский радиотелескоп // *Известия ГАО.* — 1960. — № 164. — С. 3–26.

503. Хайкин С.Э., Кайдановский Н.Л., Парийский Ю.Н. и др. Радиотелескоп РАТАН-600 // *Известия ГАО.* — 1972. — № 188. — С. 3–12.

504. Хайкин С.Э., Лихтер Я.И. О влиянии быстрых изменений температуры и давления на сопротивление электролита // *ЖЭТФ.* — 1948. — Т. 18. — № 17.

505. Хайкин С.Э., Лошаков Л.Н. Разрывные колебания в схеме с емкостью и самоиндукцией // *ЖТФ.* — 1935. — № 5. — С. 832–843.

506. Хайкин С.Э., Саломонович А.Е. Динамический метод исследования электрического контакта // *ДАН.* — 1950. — Т. 70. — № 4.

507. Хайкин С.Э., Чихачев Б.М. Исследование радиоизлучения Солнца во время

полного солнечного затмения // Известия АН СССР. Серия физическая. — 1948. — Т. 12. — № 1.

508. Хохлов Д.Р. О проблемах физической науки в современных условиях // Труды Международной научно-образовательной конференции «Наука в вузах: математика, физика, информатика. Проблемы высшего и среднего профессионального образования». — М.: РУДН, 2009. — С. 263–279.

509. Хохлов Р.В. Метод поэтапного упрощения укороченных уравнений и его применение к некоторым проблемам радиофизики: автореф. д-ра физ.-мат. наук. — М.: МГУ, 1961. — 9 с.

510. Храмов Ю.А. История физики. — Киев: «Феникс», 2006. — 1176 с.

511. Храмов Ю.А. Научные школы в физике. — Киев: Наукова думка, 1987. — 400 с.

512. Храмов Ю.А. Научные школы в физике. Препринт ИТФ-79-63Р. — Киев. 1979. — 73 с.

513. Храмов Ю.А. Физики: Биографический справочник / Под ред. А.И. Ахиезера. — 2-е изд., испр. и доп. — М.: Наука, 1983. — 400 с.

514. Циклинский Н.Н. Памяти И.Г. Фреймана // Электросвязь. — 1929. — № 8. — С. 5–7.

515. Чародей эксперимента. Сборник воспоминаний об академике Е.К. Завойском. — М.: Наука, 1993. — 256 с.

516. Чествование академика Б.А. Введенского // Вестник АН СССР. — 1963. — № 6. — С. 64–67.

517. Шафранов В.Д., Коган В.И., Кузнецова Л.К. Естественен, как сама Природа: об академике Михаиле Александровиче Леонтовиче. — М.: Наука, 2005. — 424 с.

518. Шембель Б.К. У истоков радиолокации в СССР. — М.: Советское радио, 1977. — 80 с.

519. Шикун А.А. Научные школы в психологии // Прикладная психология и психоанализ. — 2007. — № 1. — С. 87–91.

520. Школы в науке / Под ред. С.Р. Микулинского, М.Г. Ярошевского, Г. Кребера, Г. Штейнера. — М.: Наука, 1977. — 524 с.

521. Шмаков П.В. Радиотелефонирование с замкнутыми антеннами // Телефония и телеграфия без проводов. — 1926. — № 3(35). — С. 113–122.

522. Шпольский Э.В. Очерки по истории развития советской физики. 1917–1967. — М. Наука, 1969. — 144 с.
523. Шпольский Э.В. Пятьдесят лет советской физики // УФН. — 1967. — Т. 93. — Вып. 2. — С. 197–276.
524. Шулейкин М.В. Исследование условий прохождения радиоволн на магистрали Москва — Хабаровск // Известия АН СССР, ОТН. — 1937. — № 5. — С. 641–655.
525. Шулейкин М.В. О свободных колебаниях в цепи серийного генератора и мотора // Изв. С.-Петербург, Политехн. Инст. 11 (Отд. Техники, естествозн. и математ.). — 1909. — Вып. 2. — С. 483–514.
526. Шулейкин М.В. Об условиях применения генераторов высокой частоты для радиотелефонии // Известия по минному делу. — 1916. — № 49. — С. 1–15.
527. Шулейкин М.В. Об электрических колебаниях // ЖРФХО (часть физич.). — 1910. — Т. 42. — Вып. 9. — С. 470–494; 1911. — Т. 43. — Вып. 1. — С. 1–6.
528. Шулейкин М.В. Рамка-приемник и рамка-отправитель // Телеграфия и телефония без проводов. — 1921. — № 9. — С. 352–330.
529. Шулейкин М.В. Распространение электромагнитной энергии (два выпуска). — М.: Изд. Первого русского радиобюро, 1923. — 128 с.
530. Шулейкин М.В. Расчет действующей высоты радиосети и ее сопротивления // Радиотехник. — 1921. — № 14. — С. 402–421.
531. Шулейкин М.В. Расчет емкости радиосетей // Телеграфия и телефония без проводов. — 1918. — № 1. — С. 24–38.
532. Шулейкин М.В., Минц А.Л. Графический расчет радиосети // Телеграфия и телефония без проводов. — 1922. — № 14. — С. 354–376.
533. Шулейкин М.В., Минц А.Л. Счетный полукруг для расчета радиосетей // Техника связи. — 1922. — № 2. — С. 33–35.
534. Щеголев Е.Я. Академик Л.И. Мандельштам — радиоинженер // Известия АН СССР, сер. физ. — 1945. — Т. IX. — № 1–2. — С. 88–96.
535. Электронная библиотека «Научное наследие России». — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://e-heritage.ru/>.
536. Электронный вариант книги ««Нижегородские пионеры советской радиотехники»». — [Электронный ресурс]. — Режим доступа:

http://www.museum.unn.ru/managfs/index.phtml?id=13_6_0204.

537. Яковлев В.П. О Габриэле Семеновиче Горелике // Успехи современной радиоэлектроники. — 2006. — № 11. — С. 70–71.

538. Andronov A.A. Les cycles de Poincaré et la théorie des oscillations auto-entretenues // C. r. Acad. sci. Paris. — 1929. — Т. 189. — № 15. — Pp. 559–561. (Андронов А.А. Предельные циклы Пуанкаре и теория колебаний. — В кн.: IV съезд русских физиков. — Москва, Н. Новгород, Казань, Саратов, 5–16 августа 1928 г.). — М.–Л.: Гос. изд-во, 1928. — С. 23–24).

539. Braude S.Y. et al. (eds.) A Brief History of Radio Astronomy in the USSR: A Collection of Scientific Essays. — Springer Science & Business Media, 2012. — 265 p.

540. Crane D. Invisible Colleges. — Chicago: University of Chicago Press, 1972. — 224 p.

541. Garratt G.R.M. The Early History of Radio: From Faraday to Marconi. — ИЕТ, 1994. — 93 pp.

542. Gause G.P., Smaragdova N.P., Witt A.A. Further studies of interaction between predators and prey // J. Animal Ecology. — 1936. — Pp. 1–18.

543. Gause G.P., Witt A.A. Behavior of mixed populations and the problem of natural selection // The American Naturalist. — 1935. — Vol. LXIX. — Pp. 596–609.

544. Geison G.L. Research Schools and New Directions in the Historiography of Science // Research Schools: Historical Reappraisals / Eds. G.L. Geison, F. Holmes // Osiris. — 1993. — Vol. 8.

545. Geison G.L. Scientific Change, Emerging Specialties, and Research Schools // History of Science. — 1981. — Vol. XIX. — Pp. 20–38.

546. Glagolewa-Arkadiewa A. Short electromagnetic waves of wavelength up to 82 microns // Nature. — 1924. — Vol. 113. — № 2844. — P. 640.

547. Graham L. Science in Russia and the Soviet Union: A Short History, Cambridge University Press, 1981. — 321 p.

548. Holloway D. Stalin and the bomb: The Soviet Union and atomic energy, 1939–1956. — New Haven, CT, 1994. — 464 p.

549. Josephson P. Red Atom. — Pittsburgh: University of Pittsburgh Press, 2005. — 352 p.

550. Mandelsstam L., Leontovich M. Zur Theorie der Schrodingerschen Gleichung //

Zeitschrift für Physik. — 1928. — Bd. 47. — H. 1–2. — S. 131–136.

551. Mandelstam L.I., Papalexys N.D. Ferdinand Braun — In Memoriam // Die Naturwissenschaften. — 1928. — Vol. 16. — Pp. 621–626.

552. Morrell J.B. The chemist-breeders: the research schools of Liebig and Thomas Thomson // *Ambix*. — 1972. — Vol. 19. — Pp. 1–46.

553. Price D.J. de Sola. Some remarks on elitism in information and the invisible college phenomenon in science // *Journal of the American Society for Information Science*. — Vol. 22. — 1971. — Pp. 74–76.

554. Woodruff W.T. *The Early Years of Radio Astronomy: Reflections Fifty Years after Jansky's Discovery*. — Cambridge, England: Cambridge University Press, 1984. — 432 p.

Список иллюстративного материала

- Портрет М.А. Бонч-Бруевича — С. 123
- Портрет И.Г. Фреймана — С. 133
- Портрет М.В. Шулейкина — С. 148
- Портрет А.Л. Минца — С. 163
- Портрет В.К. Аркадьева — С. 187
- А.А. Глаголева-Аркадьева
в лаборатории электромагнетизма (1923 г.) — С. 196
- Рис. 1. Схема интерференционного метода — С. 197
- Рис. 2. Интерференционные кривые — С. 198
- Портрет Б.А. Введенского — С. 215
- Портрет Л.И. Мандельштама — С. 245
- Портрет Н.Д. Папалекси — С. 246
- Рис. 3. Области параметрического возбуждения (заштрихованные участки). M_1 , M_2 , M_3 , M_4 , ... — минимальные значения коэффициента модуляции для различных областей — С. 261
- Портрет А.А. Андропова — С. 297
- Рис. 4. Фазовые портреты лампового генератора — С. 304
- Рис. 5. Схема мультивибратора Абрагама — Блоха — С. 305
- Рис. 6. — С. 308
- Портрет А.А. Витта — С. 312
- Портрет Г.С. Горелика — С. 349
- Рис. 7 — С. 358
- Портрет С.М. Рытова — С. 381
- Портрет Д.А. Рожанского — С. 395
- Портрет Ю.Б. Кобзарева — С. 399
- Портрет С.Э. Хайкина — С. 435

Нобелевские премии в области радиофизики

Лауреаты	Формулировка Нобелевского комитета	Год присуждения
Г. Маркони и К.Ф. Браун	«За выдающийся вклад в создание беспроволочной телеграфии»	1909
И.А. Раби	«За резонансный метод измерений магнитных свойств атомных ядер»	1944
Э.В. Эплтон	«За исследования физики верхних слоев атмосферы, в особенности за открытие так называемого слоя Эплтона»	1947
Ф. Блох и Э.М. Перселл	«За развитие новых методов для точных ядерных магнитных измерений и связанные с этим открытия»	1952
У.Ю. Лэмб	«За открытия, связанные с тонкой структурой спектра водорода»	1955
П. Куш	«За точное определение магнитного момента электрона»	1955
У.Б. Шокли, Дж. Бардин и У.Х. Браттейн	«За исследования полупроводников и открытие транзисторного эффекта»	1956
Н.Г. Басов, А.М. Прохоров и Ч.Х. Таунс	«За фундаментальные работы в области квантовой электроники, которые привели к созданию излучателей и усилителей на лазерно- мазерном принципе»	1964
А. Кастлер	«За открытие и разработку оптических методов исследования резонансов Герца в атомах»	1966
Д. Габор	«За изобретение и развитие голографического принципа»	1971
Б.Д. Джозефсон	«За теоретическое предсказание свойств тока, проходящего через туннельный барьер, в частности явлений, общеизвестных ныне под названием эффектов Джозефсона»	1973
Л. Эсаки и А. Джайевер	«За экспериментальные открытия туннельных явлений в полупроводниках и сверхпроводниках»	1973
М. Райл и Э. Хьюиш	«За пионерские исследования в области радиоастрофизики»	1974

А.А. Пензиас и Р.В. Вильсон	«За открытие микроволнового реликтового излучения»	1978
Н. Рамзей	«За изобретение метода отдельных колебательных полей и его использование в водородном мазере и других атомных часах»	1989
Х. Демелт и В. Пауль	«За разработку метода удержания одиночных ионов»	1989
Р. Халсе и Дж. Тейлор-мл.	«За открытие нового типа пульсаров, давшее новые возможности в изучении гравитации»	1993
С. Чу, К. Коэн-Таннуджи и У. Филлипс	«За создание методов охлаждения и улавливания атомов лазерным лучом»	1997
Ж.И. Алферов и Г. Кремер	«За разработки в полупроводниковой технике»	2000
Дж. Килби	«За исследования в области интегральных схем»	2000
Р. Глаубер	«За вклад в квантовую теорию оптической когерентности»	2005
Дж. Холл и Т. Хэнш	«За вклад в развитие лазерного высокоточного спектроскопирования и техники прецизионного расчета светового сдвига в оптических стандартах частоты»	2005
Дж. Смут и Дж. Матер	«За открытие планковской формы спектра космического фонового излучения и анизотропии космического фонового излучения»	2006
А. Ферг и П. Грюнберг	«За открытие гигантского магнетосопротивления»	2007
Ч. Као, У. Бойл и Дж. Смит	«За новаторские достижения в области передачи света по оптоволоконным каналам и разработку оптических полупроводниковых сенсоров — ПЗС-матриц»	2009
А. Гейм и К. Новоселов	«За новаторские эксперименты по исследованию двумерного материала графена»	2010

Программа модульного курса «История радиофизики»

Модульный курс знакомит студентов с основными историческими этапами развития радиофизики как науки и ее современными достижениями. В нем рассматриваются история становления магистральных радиофизических направлений, научная деятельность ряда выдающихся ученых-радиофизиков (в том числе, лауреатов Нобелевской премии) и отечественных научных школ по радиофизике.

Цель курса — формирование у студентов представлений об истории развития радиофизики и ее современных достижениях, эволюции основополагающих идей и методов радиофизики.

Задачи курса:

- знакомство студентов с научными биографиями творцов радиофизики, экспериментами, оказавшими влияние на развитие этой науки, практическими применениями радиофизических знаний;
- развитие познавательных интересов, интеллектуальных и творческих способностей студентов при работе с различными источниками информации в сети Интернет, с учебной, научно-популярной литературой, подготовке сообщений, докладов, рефератов, компьютерных презентаций и выступлений с ними на семинарах и учебных конференциях;
- осознание студентами места и роли радиофизики в истории науки, а также в развитии человеческой цивилизации в XXI в.

Содержание курса

Содержание модульного курса можно условно разделить на три логических блока: «История магистральных направлений радиофизики», «История развития направлений, смежных с радиофизикой» и «История отечественной радиофизики». Кратко обсудим их содержание.

В таблице 1 представлены обязательные для изучения элементы блока «История магистральных направлений радиофизики». Они условно распределены на пять направлений: «Введение в историю радиофизики», «Исторический обзор развития радиотехники и вакуумной электроники», «Исторический обзор развития радиоспектроскопии» «Исторический обзор развития твердотельной и квантовой

электроники», «Исторический обзор развития радиоастрономии».

Таблица 1

Блок «История магистральных направлений радиофизики»

Направления истории радиофизики	Элементы содержания
Введение в историю радиофизики	Предмет, методы и аспекты радиофизики. Теоретические и экспериментальные основания радиофизики. Периодизация этапов развития радиофизики. Нобелевские премии по радиофизике
Исторический обзор развития радиотехники и вакуумной электроники	Изобретения А.С. Попова, Г. Маркони и К.Ф. Брауна в области беспроводной телеграфии. Радиотехника незатухающих колебаний (работы Н. Теслы, У. Дудделя, В. Поулсена, В.П. Вологодина). Развитие вакуумной электроники. Достижения Т. Эдисона, Дж. Флеминга, Л. де Фореста, Э. Армстронга и др. Открытие ионосферы. Достижения современной радиотехники
Исторический обзор развития радиоспектроскопии	Метод молекулярных и атомных пучков. Опыты Штерна. Разработка И. Раби резонансного метод измерений магнитных свойств атомных ядер. Создание А. Кастлером метода двойного резонанса и метода оптической накачки. Открытие ЭПР и ЯМР. Применение ЯМР-спектроскопии. Развитие микроволновой спектроскопии. Открытия У. Лэмба и П. Куша. СВЧ-приборы и их применение в различных областях науки и техники
Исторический обзор развития твердотельной и квантовой электроники	Изобретение мазера и лазера. Создание точечного транзистора (группа У. Шокли), интегральной схемы (изобретения Дж. Килби и Р. Нойса). Закон Мура и рождение микроэлектроники. Гетероструктуры и приборы на их основе. Работы Г. Крёмера и Ж.И. Алфёрова. Современные направления квантовой электроники: сверхпроводниковая электроника, фотоника, спинтроника, квантовая теория информации
Исторический обзор развития радиоастрономии	История открытия К. Янским космического радиоизлучения. Создание Г. Ребером первого радиотелескопа. Разработка М. Райлом метода апертурного синтеза. Крупнейшие радиотелескопы и РСДБ в мире. Модель расширяющейся Вселенной. Гипотеза Г.А. Гамова о существовании реликтового излучения. История открытия реликтового излучения (научные исследования А. Пензиаса и Р. Вильсона) и его

	анизотропии (научные исследования Дж. Матера и Дж. Смута). Эксперименты «Реликт-1», «COBE», «WMAP». История обнаружения квазаров, пульсаров и двойных пульсаров: модели генерации излучения, примеры объектов. Радиоастрономия и проблема SETI
--	--

В таблице 2 представлены обязательные для изучения элементы блока «История развития направлений, смежных с радиофизикой», которые условно можно разделить на два направления: «Лазерная спектроскопия» и «Физика и техника терагерцового излучения». Приведем их содержание.

Таблица 2

Блок «История развития направлений, смежных с радиофизикой»

Смежные с радиофизикой направления	Элементы содержания
Лазерная спектроскопия	Физические основы, примеры научного и технического использования лазерной спектроскопии. Методы лазерного охлаждения атомов (работы В.С. Летохова, С. Чу, У. Филлипса, К. Коэн-Таннуджи). Открытие и исследование конденсации Бозе-Эйнштейна в атомарных газах. Прецизионная лазерная спектроскопия и ее применение. Метод частотных гребенок. Результаты, полученные Р. Глаубером, Дж. Холлом и Т. Хеншем
Физика и техника терагерцового излучения	Источники, приемники и области применения терагерцового излучения Эффект разогрева электронов в тонких сверхпроводящих пленках. НЕВ-смесители и их использование в геофизике, радиофизике, дистанционном зондировании, астрофизике. Терагерцовая астрономия

В таблице 3 приведены обязательные для изучения элементы блока «История отечественной радиофизики».

Таблица 3

Блок «История отечественной радиофизики»

Исторический обзор развития отечественной радиофизики	РОБТиТ, Нижегородская радиолaborатория, Центральная радиолaborатория — первые отечественные радиофизические центры. Радиофизические научные школы в области теории нелинейных колебаний, радиолокации и радиоастрономии: история формирования, основополагающие результаты, ученики, место и
---	--

	роль в истории науки. Выдающиеся отечественные радиотехники и радиофизики: биографии и научные исследования
Эволюция радиофизической школы МПГУ	История образования ПРФЛ МПГУ. Научная деятельность Н.Н. Малова, В.С. Эткина, Е.М. Гершензона и Г.Н. Гольцмана. Основополагающие результаты, полученные радиофизической научной школой МПГУ

Особенность указанных модулей состоит в том, что в зависимости от учебных целей и состава аудитории, можно их изучать как отдельно друг от друга, формируя на их основе отдельные спецкурсы, или полностью, излагая материал всего курса. Отметим, что в УНРЦ МПГУ исследуются актуальные проблемы радиофизики. Естественно, что для студентов и аспирантов радиотехнических и радиофизических вузов, представляет значительный интерес изучение истории ее развития, научного наследия выдающихся творцов радиофизики, современных радиофизических проблем, деятельности радиофизических научных школ. В этом контексте модульный курс «История радиофизики» может удачно дополнить основной курс радиофизики, предоставляя студентам возможность расширить свои знания в области истории этой науки, раскрыть межпредметные связи и методологические аспекты радиофизики.

Методы, формы и средства изучения

Предлагаемый курс реализуется в виде мультимедийных лекций, выполненных таким образом, что они могут использоваться для чтения лекций в вузе, для проведения уроков в школе, а также при дистанционном обучении. Методика изложения учебных материалов с помощью мультимедийных лекций достаточно хорошо разработана и активно используется в учебном процессе.

В основу модульного курса положены следующие принципы.

- Изложение ведется на качественном уровне, количественные закономерности приводятся только в необходимых случаях. В содержание учебного материала по радиофизике включены сведения из истории развития радиофизики, сведения, раскрывающие многогранные связи этой науки, сведения о вкладе выдающихся ученых в радиофизику и др.

- Чтение курса ведется с учетом психолого-педагогических особенностей визуального и вербального восприятия учебного материала обучаемыми. При этом мультимедийное изложение рассчитано на активное участие творческого начала учителя

и глубокое «погружение» обучаемых в изучаемый материал.

Занятия по изучению истории радиофизики могут быть организованы как процесс самостоятельной познавательной и творческой деятельности студентов. При этом теоретический материал излагается на мультимедийных лекциях. Развитию самостоятельной деятельности студентов способствуют семинарские занятия, на которых заслушиваются доклады и сообщения, проводятся дискуссии по итогам выступлений. Выступления студентов с творческими работами (рефератами или компьютерными презентациями) проводятся в рамках учебной конференции. Работа над творческим заданием способствует выработке навыков исследовательской и поисковой работы с литературными источниками, развитию умений выделять главное, анализировать, сравнивать, систематизировать, обобщать и конспектировать учебный материал.

К средствам изучения модульного курса по истории радиофизики относятся: учебно-методические материалы, ПК, мультимедийный проектор, интерактивная доска.

Контроль знаний

Для оценки промежуточных достижений студентов могут быть использованы такие способы, как анализ выполнения творческих работ, результатов проведения промежуточных тестовых заданий. Итоговый контроль знаний и умений студентов можно проводить в форме зачета. Применительно к модульному курсу «История радиофизики» зачет можно выставлять, например, по следующим критериям:

- выполнение итогового теста;
- выступления с докладом или сообщением на семинарах;
- выступление с рефератом или компьютерной презентацией на учебно-научной конференции.

Предлагаемые критерии оценки работы не являются обязательными. Преподаватель может устанавливать другие критерии на основе своего опыта и состава группы.

Иллюстративный материал

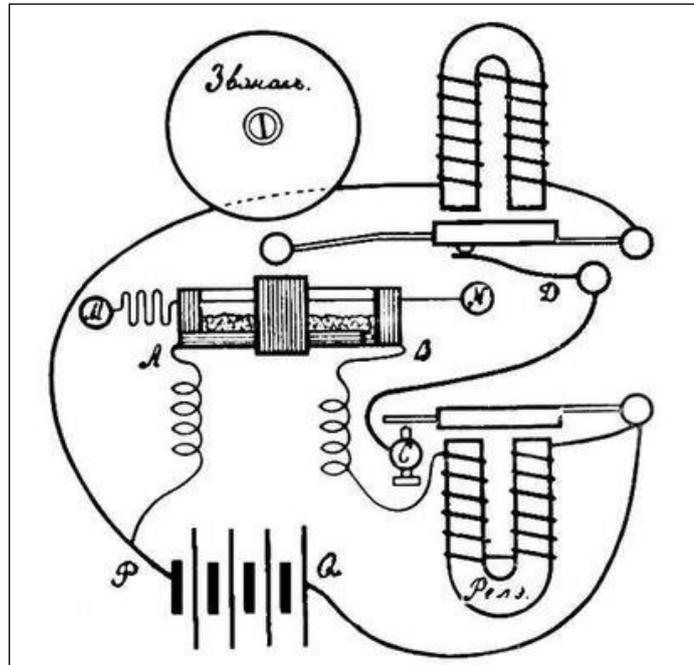


Рис. 1п. Схема радиоприемника Попова



**Рис. 2п. В лаборатории Радиотелеграфного депо
Морского ведомства (1910 г.)**

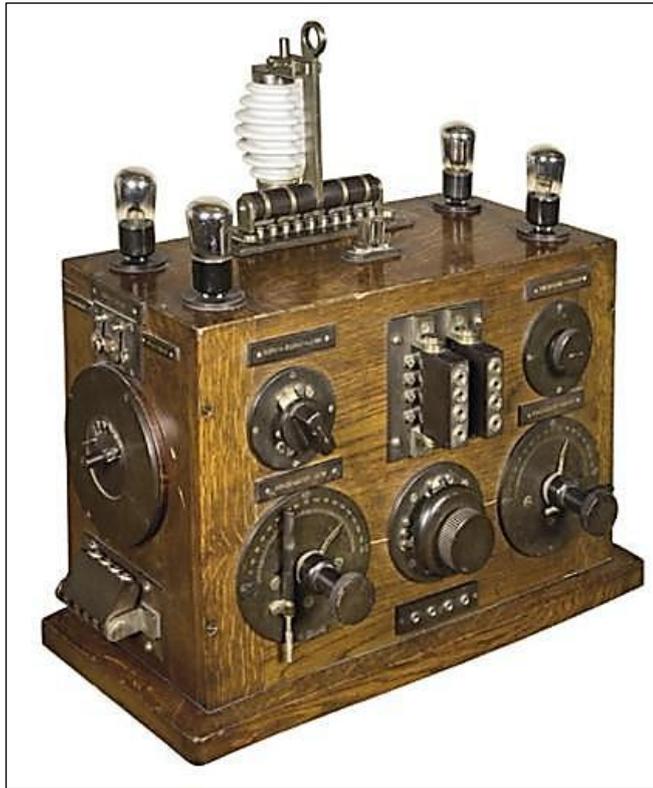


Рис. 3п. Внешний вид лампового приемника «ПР-6-4»



Рис. 4п. Завод по производству телеграфного оборудования РОБТиТ



Рис. 5п. Одна из ламп конструкции Папалекси



Рис. 6п. Члены РОРИ. Сидят (слева–направо): В.К. Лебединский, Н.Н. Циклинский, А.А. Петровский, В.Ф. Миткевич, И.Г. Фрейман (1928 г.)



Рис. 7п. Радиолампа «Бабушка»



Рис. 8п. Радиоприемник «КУБ-4»



Рис. 9п. И.Г. Фрейман среди студентов ЛЭТИ (1925 г.).

Слева направо сидят: М.В. Казанцева, А.Н. Щукин, И.Г. Фрейман, А. Ф. Шорин, В.С. Коган; стоят: Е.Г. Момот, В.Н. Сизов, В.П. Широких, Н.К. Горбунова, Б.Н. Филиппов, А.А. Ванеев, М.Н. Бостонов, В.Н. Листов, Н.Н. Дежкин



Рис. 10п. М.В. Шулейкин и И.Г. Кляцкин (1938 г.)

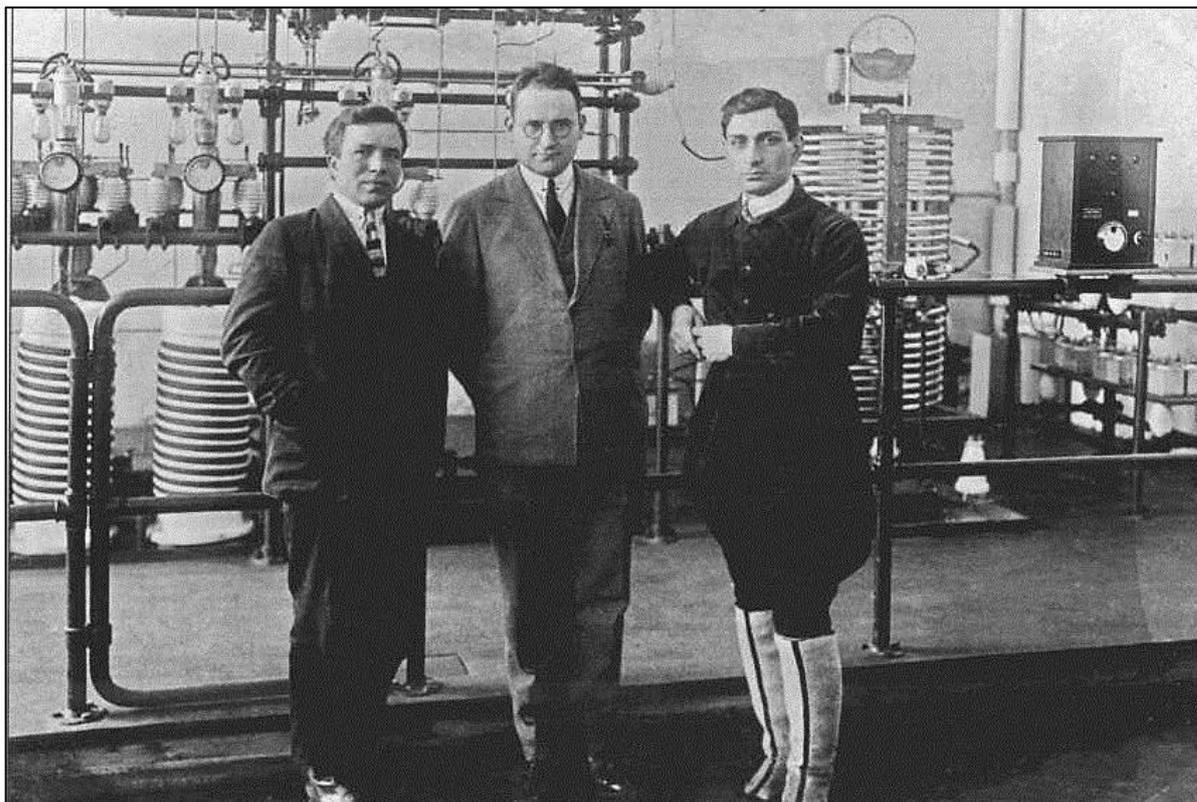


Рис. 11п. М.И. Басалаев, А.Л. Минц и Н.И. Оганов

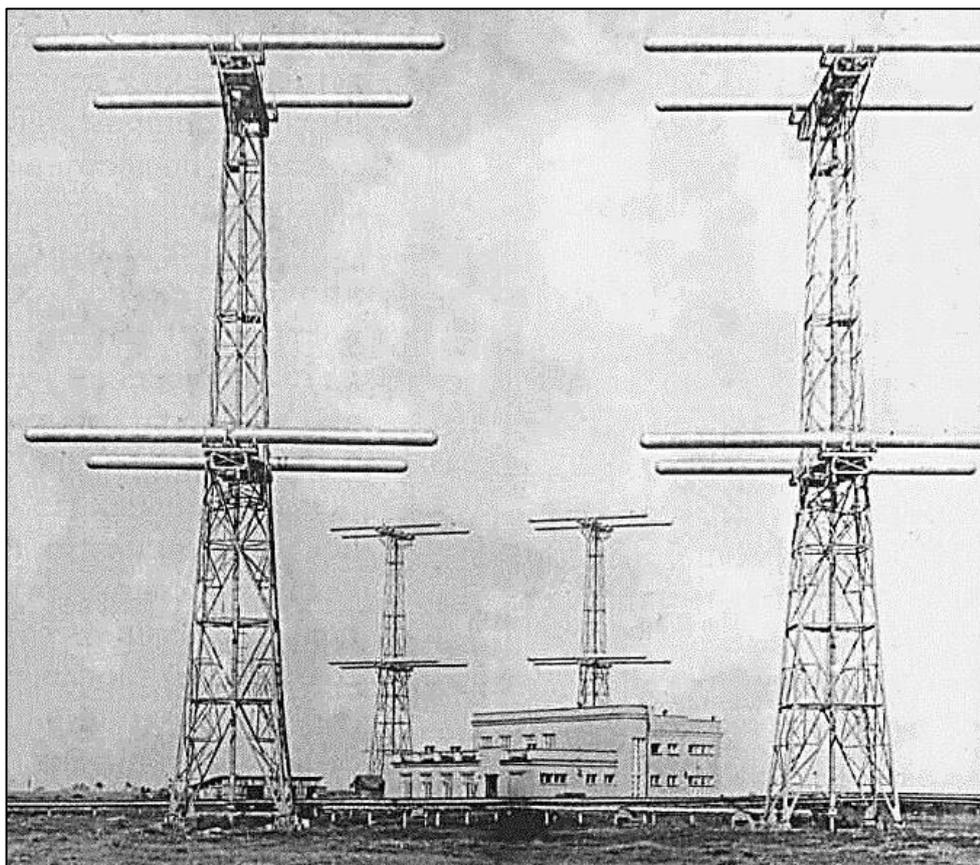


Рис. 12п. Радиостанция им. Коминтерна



Рис. 13п. Синхрофазотрон на 10 ГэВ



Рис. 14п. А.Л. Минц и С.М. Рытов



Рис. 15п. Многофункциональная РИС «Дон-2Н»



Рис. 16п. Первый ряд (слева-направо): А.А. Глаголева-Аркадьева, Г. Буш, В.К. Аркадьев, Р. Ганс, А.А. Леонтьева. Второй ряд (слева-направо): К.Ф. Теодорчик, Ю.П. Симанов, М.А. Чупрова, Б.А. Введенский, Н.А. Никитин, К.А. Волкова, М.М. Четверикова, В.К. Митяев. Третий ряд (слева-направо): В.А. Карчагин, Н.С. Акулов, Онигцин, В.С. Волков, А.А. Ермолаев

В Лаборатории электромагнетизма начали научную деятельность следующие научные работники:

№№ п/п.	Фамилия, и. о.	Год	№№ п/п.	Фамилия, и. о.	Год
1	Введенский Б. А.	1921	24	Калугина А. П.	1936
2	Карчагин В. А.	1922	25	Павасенков Ф. Ф. (Уль- яновск, Ярославль)	1936
3	Леонтьева А. А.	1922			
4	Никитин Н. А.	1924	26	Кизель В. А.	1937
5	Чупрова М. А.	1925	27	Чернявская Э. Г.	1937
6	Волков В. С.	1925	28	Пеннер Д. И.	1937
7	Гапонов В. И.	1926	29	Лаврентьев С. С.	1937
8	Шиллеров Б. А.	1926	30	Телеснин Р. В.	1937
9	Симанов Ю. П.	1926	31	Казарин А. Н. (г. Вла- димир)	1939
10	Митяев В. К.	1926			
11	Акулов И. С.	1926	32	Киркин В. Е. (Воронеж)	1939
12	Четверикова М. М.	1927	33	Ахметов С. З.	1939
13	Ермолаев А. А.	1929	34	Хатюков С. А. (г. Глу- хов)	1939
14	Малов Н. Н.	1929			
15	Мирлас Л. В.	1929	35	Братусь Я. И. (г. Глу- хов)	1939
16	Волкова К. А.	1929			
17	Кондорский Е. И.	1930	36	Маталли А. Ф. (г. Горь- кий)	1939
18	Садиков Б. А.	1936			
19	Антик И. В.	1930	37	Грайцерштейн Л. А.	1939
20	Шевзнер Л. М.	1930	38	Алехина Э. М.	1940
21	Урысон В. О.	1931	39	Гольдин С. А.	1940
22	Велецкая О. И.	1935	40	Пильщикова А. И.	1940
23	Морозова А. М.	1936			

Рис. 17п. Сотрудники лаборатории электромагнетизма

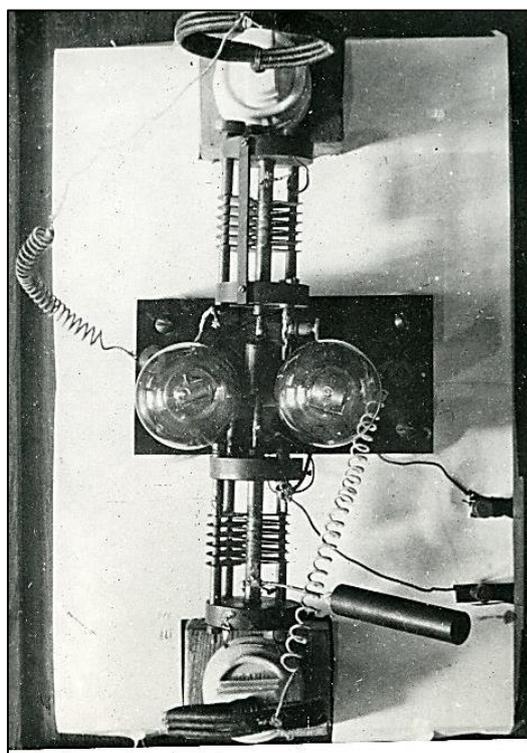


Рис. 18п. Одна из первых схем генератора УКВ (1924 г.)



Рис. 19п. Б.А. Введенский среди участников экспедиции ВЭИ на Черном море (1932 г.)



Рис. 20п. Л.И. Мандельштам и Н.Д. Папалекси среди сотрудников ЦРЛ (1932 г.)

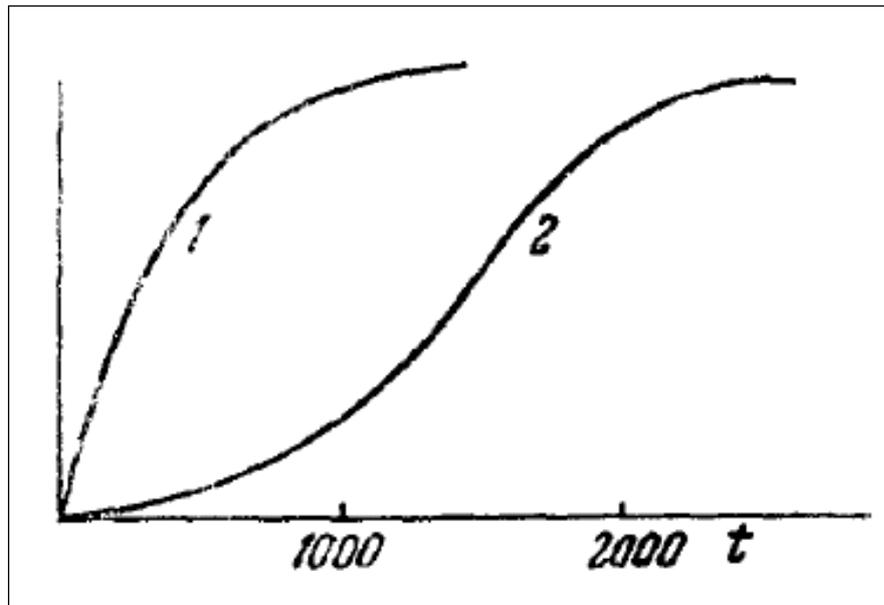


Рис. 21п. Кривые нарастания колебаний при классическом резонансе (1) и резонансе второго рода (2)



Рис. 22п. Н.Д. Папалекси с группой сотрудников сектора нелинейных колебаний отдела научной радиотехники ЛЭФИ (1932 г.)

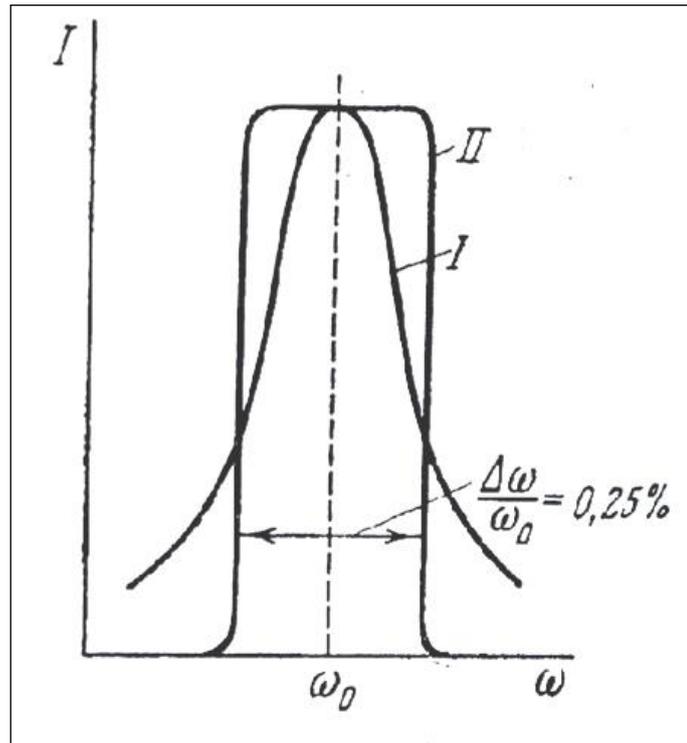
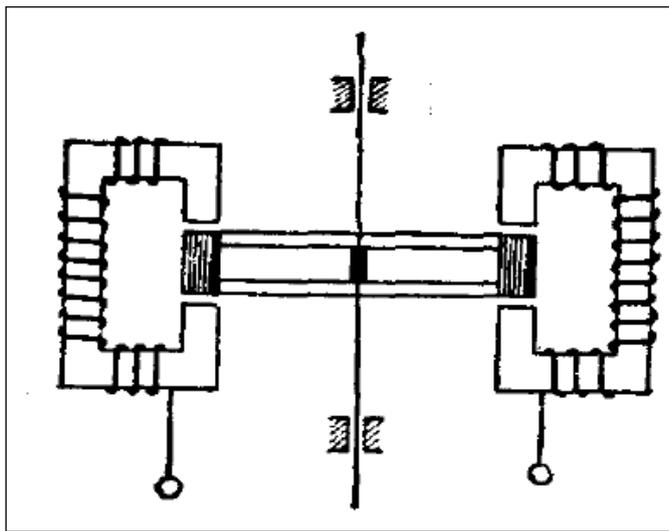
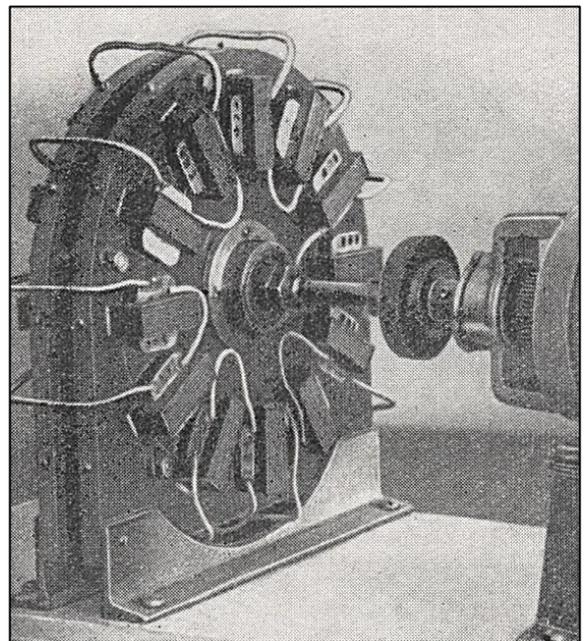


Рис. 23п. Резонансные кривые:

I — классический резонанс, *II* — параметрический резонанс



a



б

Рис. 24п. Параметрические машины



**Рис. 25п. Участники I Международной конференции по нелинейным колебаниям в Париже (1933 г.): Н.Д. Папалекси (четвертый справа),
Б. Ван дер Поль (шестой справа)**



Рис. 26п. Л.И. Мандельштам и Н.Д. Папалекси среди участников Пятигорской экспедиции (1934 г.)



Рис. 27п. Лаборатория статистической радиофизики в ИРЭ (1955 г.).

**Слева направо сидят: Ю. Маклаков, Г.С. Горелик, М.И. Родак;
стоят: А.В. Францессон, Г.А. Ёлкин, И. Кузьмин, Марат (аспирант)**

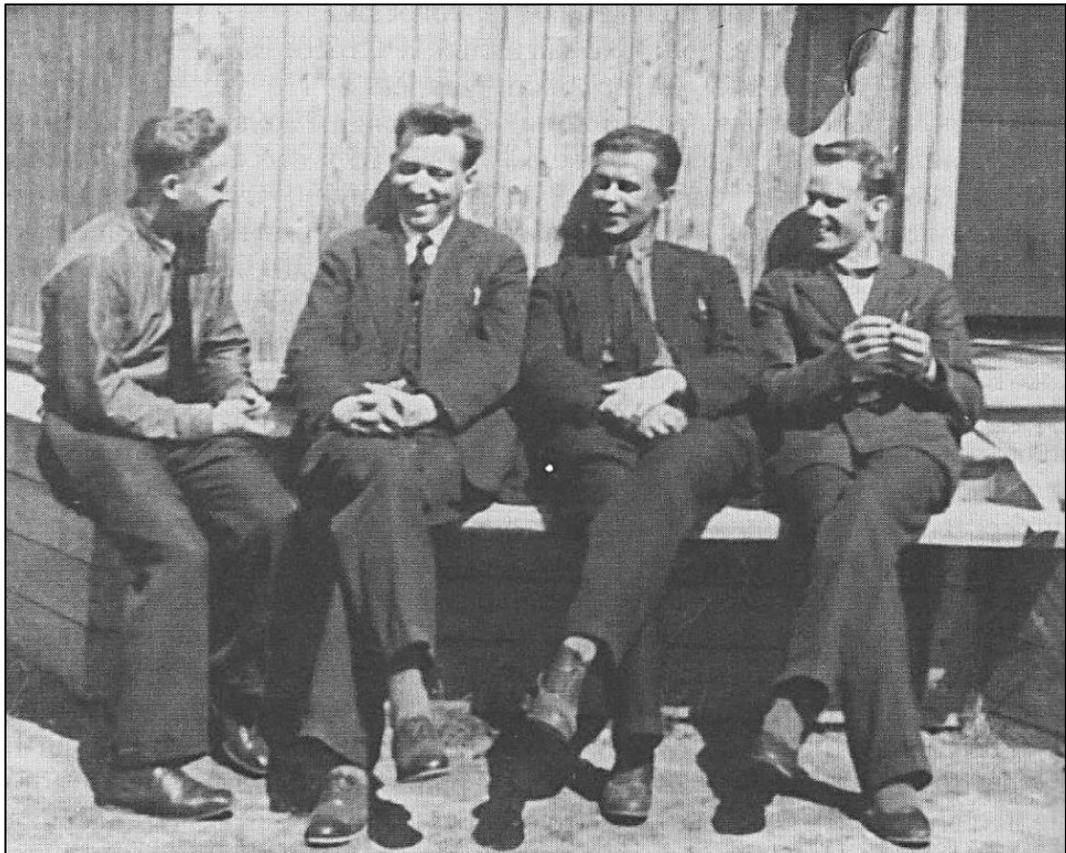


Рис. 28п. Сотрудники кафедры общей физики (1949–1950 гг.).

**Слева направо стоят: Т.Х. Шагиев, П.Б. Иванов, И.С. Жукова, А.Г. Любина,
А.А. Грачев; сидят: Н.М. Забавина (Боровицкая), С.И. Боровицкий, К.А. Горонина,
Г.С. Горелик, Ф.А. Маркус, Е.Ю. Саленикович**



Рис. 29п. С.М. Рытов с аспирантами ГИФТИ (1944 г.)



**Рис. 30п. Слева направо: А.А. Малеев, Ю.Б. Кобзарев,
П.А. Погорелко, Н.Я. Чернецов на полигоне Опытного сектора (1937 г.)**



Рис. 31п. Фото с экрана осциллографа в опытах 1938 г.
 Линии развертки придана волнистая форма для упрощения измерения расстояния до самолета (в данном случае оно оставляет 30 км)

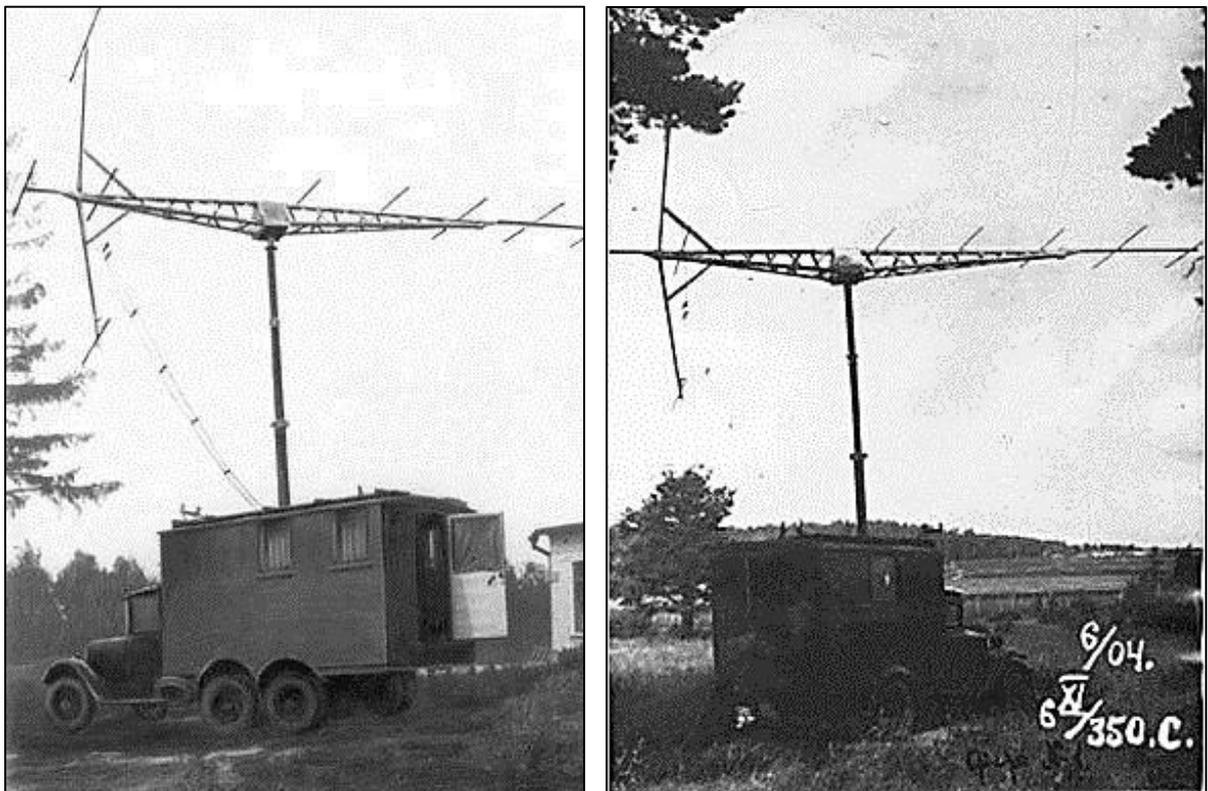


Рис. 32п. РЛС «Редут»: слева — излучающая установка,
 справа — приемная установка



Рис. 33п. А.Ф. Богомолов и Ю.Б. Кобзарев



Рис. 34п. РЛС «Тропа» (П-15)

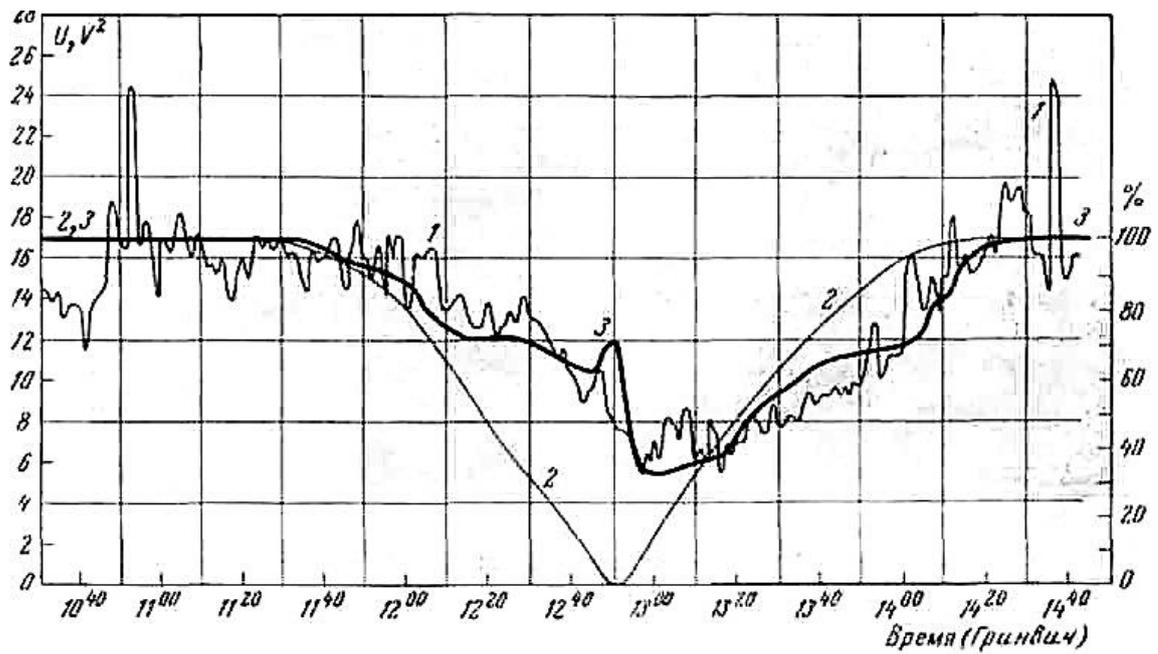


Рис. 35п. Записи, полученные во время затмения Солнца 20 мая 1947 г.: 1 — изменение интенсивности радиоизлучения Солнца на длине волны 1,5 м; 2 — изменение видимой площади солнечного диска; 3 — ход «затмения» водородных протуберанцев и волокон

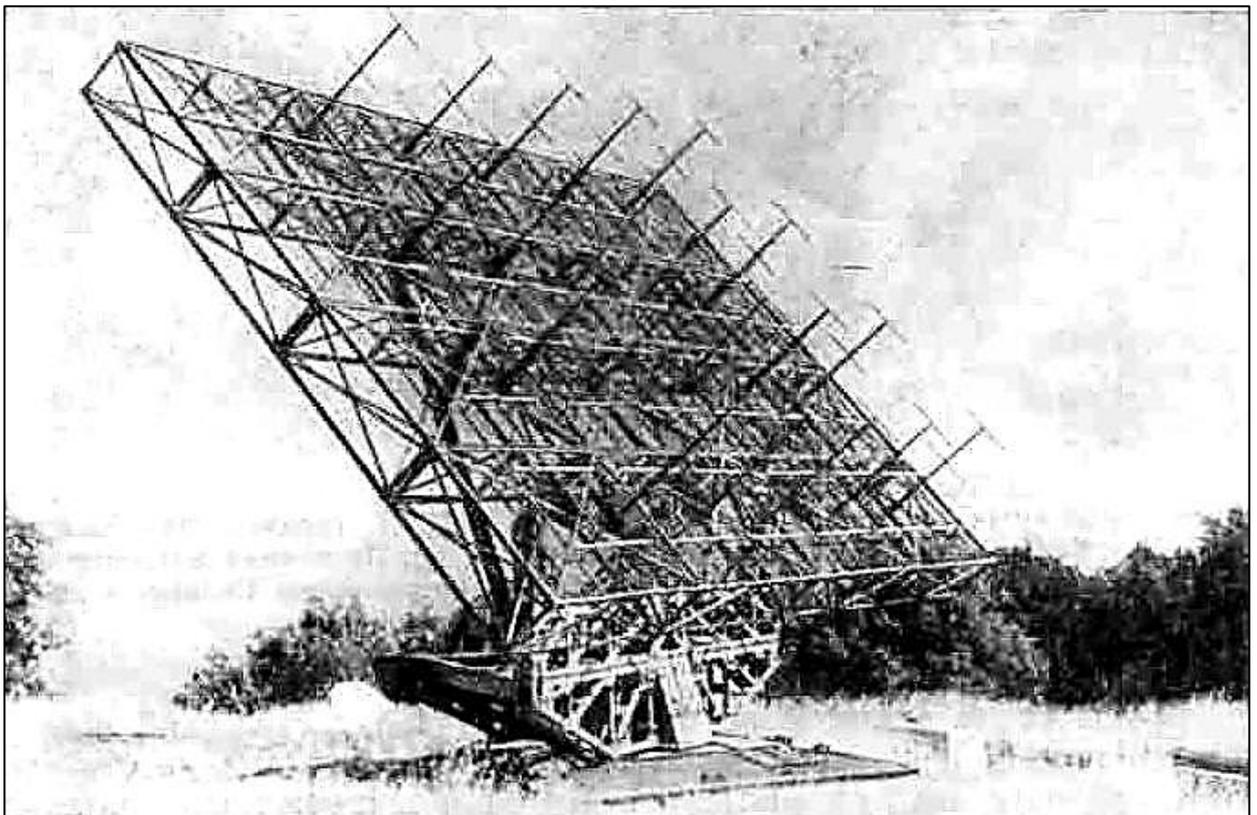


Рис. 36п. Первый крымский радиотелескоп ФИАН (1949 г.)



Рис. 37п. Большой Пулковский Радиотелескоп



Рис. 38п. Радиотелескоп «РАТАН-600»

Параметры научной школы в отечественной радиофизике

Таблица 1п

**Научная школа И.Г. Фреймана
в области инженерной радиотехники**

Измерения научной школы	Параметры научной школы
Научно-содержательное	<p>1) Теоретические и практические результаты, полученные научной школой: методы проектирования и расчета различных радиотехнических устройств (антенн, радиоприемников, радиостанций), создание и апробация различной радиоаппаратуры.</p> <p>2) Исследовательская программа (или исследовательские программы), по которой(ым) работает научная школа: научно-инженерный подход к проектированию и конструированию различных радиотехнических систем.</p> <p>3) Тематика исследований научной школы: теория распространения радиоволн, теория антенн и машин высокой частоты, электронно-вакуумная техника, вопросы терминологии, теория и методика расчета лампового генератора.</p> <p>4) Написание монографий, обобщающих теоретические и практические результаты научной школы: «Краткий очерк основ радиотехники», «Курс радиотехники».</p> <p>5) Внедрение разработок в различные технологии, ВПК: концепция системы радиовооружения ВМФ</p>

	«Блокада-1»
Научно-организационное	<p>1) Институциональное оформление (место локализации) научной школы: ЛЭТИ, ВМА.</p> <p>2) Наиболее активный период деятельности научной школы: 1917–1935 гг. (начало педагогической деятельности И.Г. Фреймана — организация новых кафедр ЛЭТИ его учениками).</p> <p>3) Радиофизические центры, выросшие на основе научной школы: НИМИС, кафедра радиоэлектронных средств СПбГЭТУ «ЛЭТИ»</p>
Научно-образовательное	<p>1) Наличие лидера (руководителя) научной школы: И.Г. Фрейман.</p> <p>2) Коммуникативное ядро научной школы: обсуждение тем дипломных проектов.</p> <p>3) Чтение лекций и проведение семинаров участниками научной школы: чтение лекций по курсу радиотехники в ЛЭТИ, по курсу радиотехники на электротехническом факультете в ВМА и др., выступление с докладами в РОРИ.</p> <p>4) Формирование кадрового состава (представителей) научной школы: участниками школы становились слушатели и выпускники ЛЭТИ и ВМА (А.И. Берг, А.А. Харкевич, В.И. Сифоров, А.Н. Щукин и др.).</p> <p>5) Написание учебных курсов и пособий для студентов: «Радиотехника» (литографированный конспект лекций), «Курс радиотехники»</p>
Личностно-психологическое	<p>1) Взаимодействие руководителя научной школы и его учеников: в рамках дипломного проектирования, чтения лекций и консультаций.</p> <p>2) Стиль руководства в научной школе: по воспоминаниям коллег, И.Г. Фрейман «не терпел школярства, шаблона, стремился пробудить в своих слушателях творческую инициативу, любовь к</p>

	самостоятельной инженерной работе»
Социокультурное	<p>1) Взаимодействие с другими научными школами: участвовал в совместных работах с М.В. Шулейкиным — руководителем научной школы в области инженерной радиотехники, теории и практики распространения радиоволн, с сотрудниками НРЛ (М.А. Бонч-Бруевичем, В.К. Лебединским).</p> <p>2) Взаимоотношения научной школы и государства, оценка ее деятельности обществом: организация первой в стране кафедры радиотехники в ЭТИ (руководитель И.Г. Фрейман), поддержка и реализация системы радиовооружения «Блокада-1» для ВМФ (и двух последующих систем, созданных на основе идей И.Г. Фреймана).</p> <p>Из научной школы И.Г. Фреймана вышли три академика и два член-корреспондента АН СССР. И.Г. Фрейман — инициатор радиолобительского движения, популяризатор радиотехнических знаний</p>

Научная школа М.В. Шулейкина

в области инженерной радиотехники, теории и практики распространения радиоволн

Измерения научной школы	Параметры научной школы
Научно-содержательное	<p>1) Теоретические и практические результаты, полученные научной школой: методы проектирования и расчета различных радиотехнических устройств (антенн, радиоприемников, радиостанций), создание и апробация различной радиоаппаратуры.</p> <p>2) Исследовательская программа (или исследовательские программы), по которой(ым) работает научная школа: научно-инженерный подход к проектированию и конструированию различных радиотехнических систем, исследования в области теории и практики распространения радиоволн.</p> <p>3) Тематика исследований научной школы: разработка методов расчета и проектирования антенн и ряда важнейших радиотехнических устройств, теория и техника радиоизмерений, теория распространения и излучения радиоволн (в том числе, в ионосфере).</p> <p>4) Написание монографий, обобщающих теоретические и практические результаты научной школы: первая часть курса радиотехники «Распространение электромагнитной энергии», «Исследование условий прохождения радиоволн на магистрали Москва — Хабаровск» (1937 г.).</p> <p>5) Внедрение разработок в различные технологии, ВПК: оснащение отечественного ВМФ и береговых радиостанций средствами радиосвязи, запуск мощной радиостанции в Сокольниках, решение вопросов, связанных с эксплуатацией радиомогастрали «Москва — Хабаровск»</p>

<p>Научно-организационное</p>	<p>1) Институциональное оформление (место локализации) научной школы: Радиотелеграфный завод Морского ведомства, РОРИ, радиотехнический факультет МВТУ, радиолaborатория ВЭИ, бригада электросвязи ОТН АН СССР и Комиссия по радиосвязи АН СССР.</p> <p>2) Наиболее активный период деятельности научной школы: 1913–1938 гг. (начало работы М.В. Шулейкина на Радиотелеграфном заводе Морского ведомства — организация при его участии Комиссии по радиосвязи АН СССР).</p> <p>3) Радиофизические центры, выросшие на основе научной школы: Комиссия по радиосвязи АН СССР</p>
<p>Научно-образовательное</p>	<p>1) Наличие лидера (руководителя) научной школы: М.В. Шулейкин.</p> <p>2) Коммуникативное ядро научной школы: обсуждение тем дипломных проектов, консультации радиоспециалистов.</p> <p>3) Чтение лекций и проведение семинаров участниками научной школы: чтение лекций по курсу радиотехники в МВТУ, лекций в Военной электротехнической академии, в Институте связи им. В.Н. Подбельского и др., выступление с докладами в РОРИ.</p> <p>4) Формирование кадрового состава (представителей) научной школы: участниками школы становились студенты МВТУ, сотрудники радиолaborатории ВЭИ, бригады электросвязи ОТН АН СССР.</p> <p>5) Написание учебных курсов и пособий для студентов: первая часть курса радиотехники «Распространение электромагнитной энергии»</p>
<p>Личностно-психологическое</p>	<p>1) Взаимодействие руководителя научной школы и его учеников: в рамках дипломного проектирования, чтения лекций и консультаций.</p> <p>2) Стиль руководства в научной школе: взаимодействие с учениками и сотрудниками было творческим,</p>

	<p>не авторитарным; в ходе работы с учениками и сотрудниками М.В. Шулейкин передавал им свои черновые наброски и накопленные материалы по тому или иному вопросу, направляя, тем самым, их научно-исследовательскую деятельность</p>
Социокультурное	<p>1) Взаимодействие с другими научными школами: участвовал в совместных работах с И.Г. Фрейманом — руководителем научной школы в области инженерной радиотехники, А.Л. Минцем — руководителем научных школ в области техники мощных радиовещательных станций и разработки радиоэлектронных систем для ускорителей заряженных частиц и РЛС дальнего обнаружения.</p> <p>2) Взаимоотношения научной школы и государства, оценка ее деятельности обществом:</p> <p>В 1933 г. М.В. Шулейкин был избран членом-корреспондентом, а в 1939 г. — действительным членом АН СССР. М.В. Шулейкиным была организована радиоспециальность в МВТУ. В этом институте им была подготовлена плеяда будущих радиоинженеров. М.В. Шулейкин внес значительный вклад в развитие радиовооружения отечественного ВМФ.</p> <p>Из научной школы М.В. Шулейкина вышли 2 академика АН СССР</p>

Научные школы А.Л. Минца

в области техники мощных радиовещательных станций и разработки радиоэлектронных систем для ускорителей заряженных частиц и РЛС дальнего обнаружения

Измерения научной школы	Параметры научной школы
Научно-содержательное	<p>1) Теоретические и практические результаты, полученные научной школой: методы проектирования и расчета различных радиотехнических устройств (антенн, радиоприемников, радиостанций), создание мощных радиовещательных станций, радиоэлектронных систем для ускорителей заряженных частиц, РЛС дальнего обнаружения.</p> <p>2) Исследовательская программа (или исследовательские программы), по которой(ым) работает научная школа: научно-инженерный подход к проектированию и конструированию мощных радиовещательных станций, радиоэлектронных систем для ускорителей заряженных частиц и РЛС для систем ПРО, ККП, ПРН.</p> <p>3) Тематика исследований научной школы: вопросы инженерной радиотехники, разработка телевизионного оборудования, проектирование и строительство мощных радиовещательных станций, радиоэлектронных систем для ускорителей заряженных частиц, РЛС дальнего обнаружения и др.</p> <p>4) Написание монографий, обобщающих теоретические и практические результаты научной школы: избранные труды А.Л. Минца.</p> <p>5) Внедрение разработок в различные технологии, ВПК: создание сети радиостанций, обеспечивающей</p>

	радиовещание по всей стране, применение РЛС дальнего обнаружения в системах ПРО, ККП и ПРН
Научно-организационное	<p>1) Институциональное оформление (место локализации) научной школы: НИИС РККА, БМР, КМР, РАЛАН, РТИ.</p> <p>2) Наиболее активный период деятельности научной школы: 1921–1943 гг. (начало работы А.Л. Минца в качестве заведующего ВРТЛ РККА — запуск Куйбышевской радиостанции, ставшей последним его проектом в области мощного радиостроения). 1946–1970 гг. (начало деятельности А.Л. Минца в области создания радиоэлектронных систем для ускорителей заряженных частиц и РЛС дальнего обнаружения — уход А.Л. Минца из РТИ).</p> <p>3) Радиофизические центры, выросшие на основе научной школы: ОАО «Радиотехнический институт имени академика А.Л. Минца», МРТИ</p>
Научно-образовательное	<p>1) Наличие лидера (руководителя) научной школы: А.Л. Минц.</p> <p>2) Коммуникативное ядро научной школы: технические совещания, консультации радиоспециалистов, конструкторов и инженеров, дипломное проектирование.</p> <p>3) Чтение лекций и проведение семинаров участниками научной школы: работа А.Л. Минца и его учеников в ЛПИ и ЛЭИС (кафедра радиопередающих устройств), выступление А.Л. Минца с докладами в РОРИ.</p> <p>4) Формирование кадрового состава (представителей) научной школы: участниками школы становились выпускники ЛПИ и ЛЭИС, сотрудники БМР, КМР, РАЛАН и РТИ.</p> <p>5) Написание учебных курсов и пособий для студентов: публикация А.Л. Минцем историко-научных статей (например, по истории радиоэлектроники), научно-биографических очерков (о М.В. Шулейкине,</p>

	<p>А.Н. Щукине, М.А. Бонч-Бруевиче, И.Г. Кляцкине и др.), заметок, посвященных связям науки и производства, организации научных исследований; написание книги «Радиопередающие устройства» (авторы З.И. Модель, И.Х. Невяжский) для студентов радиотехнических вузов</p>
<p>Личностно-психологическое</p>	<p>1) Взаимодействие руководителя научной школы и его учеников: в рамках преподавания в ЛПИ и ЛЭИС, технических совещаний и консультаций.</p> <p>2) Стиль руководства в научной школе: поощрение и развитие творческой самостоятельности и научно-технического кругозора учеников, четкая организация научно-исследовательской деятельности, направленность на внедрение полученных результатов в производство и ВПК</p>
<p>Социокультурное</p>	<p>1) Взаимодействие с другими научными школами: участвовал в совместных работах с М.В. Шулейкиным в ВРТИ РККА — руководителем научной школы в области инженерной радиотехники, теории и практики распространения радиоволн. В РТИ А.Л. Минц активно взаимодействовал с С.М. Рытовым — выдающимся специалистом в области статистической радиофизики.</p> <p>2) Взаимоотношения научной школы и государства, оценка ее деятельности обществом:</p> <p>в 1946 г. А.Л. Минц был избран членом-корреспондентом, а в 1958 г. — действительным членом АН СССР. В 1950 г. Президиум АН СССР присудил ему Золотую медаль им. А.С. Попова.</p> <p>С 1970 г. А.Л. Минц стал руководителем Научного совета АН СССР по проблемам ускорения заряженных частиц.</p> <p>Дважды (в 1946 и 1951 гг.) А.Л. Минцу присуждались Государственные премии СССР, в 1956 г. — ему присвоено звание Героя Социалистического Труда, а в 1959 г. он был удостоен Ленинской премии. Имя А.Л. Минца присвоено РТИ (1985 г.). Ежегодно в этом институте присуждается премия Минца. Многие</p>

	сотрудники и ученики А.Л. Минца становились лауреатами престижных наград в области науки и техники. А.Л. Минц — активный участник радиоловительского движения
--	---

Научная школа В.К. Аркадьева
(лаборатория электромагнетизма им. Дж.К. Максвелла)

Измерения научной школы	Параметры научной школы
Научно-содержательное	<p>1) Теоретические и практические результаты, полученные научной школой: применение теории электромагнитного поля Дж.К. Максвелла к ферромагнитным металлам, исследования по дифракции света, теории магнитной дисперсии, теории скин-эффекта, изучению сверхсильных магнитных полей, распространению электромагнитных волн в металлах, конструирование различных устройств (импульсного генератора высокого напряжения, массового излучателя), разработка методов («эхо-бокса», ступенчатой решетки, стиктографии, искровой стиктографии).</p> <p>2) Исследовательская программа (или исследовательские программы), по которой(ым) работает научная школа: изучение электромагнитных процессов в веществе с точки зрения теории электромагнитного поля Дж.К. Максвелла и ее расширение на область ферромагнитных металлов.</p> <p>3) Тематика исследований научной школы: 1) разработка методов генерации ультракоротких электромагнитных волн и исследования их свойств; 2) приложение теоретических положений теории электромагнитного поля Дж.К. Максвелла к исследованию электромагнитных процессов в веществе; 3) создание различных устройств и методов, нашедших практическое и промышленное применение.</p> <p>4) Написание монографий, обобщающих теоретические и практические результаты научной школы: «Электромагнитные процессы в металлах. Ч. 1–2» (1934–1936 гг.), «Московская магнитная лаборатория</p>

	<p>1919–1929. Итоги за 10 лет» (1929 г.), «Современные проблемы электромагнетизма» (1931 г.), «Лаборатория электромагнетизма им. Максвелла. 1919–1939» (1940 г.), «Электромагнитная теория света и работа лаборатории им. Максвелла при физическом факультете за 25 лет. 1919–1944» (1944 г.).</p> <p>5) Внедрение разработок в различные технологии, ВПК: работы по замене меди железом, спектральным электромагнитным свойствам трансформаторной жести, разработка методов контроля изделий из диэлектриков, применение компрессора магнитного потока в исследованиях плазмы и др.</p>
Научно-организационное	<p>1) Институциональное оформление (место локализации) научной школы: университет им. А.Л. Шанявского, лаборатория электромагнетизма им Дж.К. Максвелла на физическом факультете МГУ (позже присоединена к НИИФ МГУ).</p> <p>2) Наиболее активный период деятельности научной школы: 1919–1939 гг. (организация Московской магнитной лаборатории в МГУ — образование на основе лаборатории электромагнетизма кафедры «Теоретические основы электротехники»).</p> <p>3) Радиофизические центры, выросшие на основе научной школы: кафедра «Теоретические основы электротехники», кафедра магнетизма МГУ</p>
Научно-образовательное	<p>1) Наличие лидера (руководителя) научной школы: В.К. Аркадьев.</p> <p>2) Коммуникативное ядро научной школы: магнитный коллоквиум.</p> <p>3) Чтение лекций и проведение семинаров участниками научной школы: проведение лекционных занятий В.К. Аркадьевым по теоретической физике, чтение курсов по специальности «Электрические измерения», выступления В.К. Аркадьева и его учеников на магнитном коллоквиуме.</p> <p>4) Формирование кадрового состава (представителей) научной школы: участниками школы становились</p>

	<p>слушатели университета им. А.Л. Шанявского, студенты-«электроизмерители» физико-математического факультета МГУ, преподаватели из других городов СССР, проходившие заочное обучение под руководством сотрудников лаборатории.</p> <p>5) Написание учебных курсов и пособий для студентов: глава «Электромагнитная спектроскопия металлов» в курсе физики О.Д. Хвольсона, материалы для обучения по специальности «Электрические измерения»</p>
Личностно-психологическое	<p>1) Взаимодействие руководителя научной школы и его учеников: в рамках работ практикума в университете им. А.Л. Шанявского, электроизмерительной лаборатории, заседаний магнитного коллоквиума.</p> <p>2) Силь руководства в научной школе: сотрудничество лаборатории электромагнетизма с отечественными и зарубежными учеными-физиками, связь с университетским преподаванием, организация заочного обучения преподавателей, научных учреждений; практическая направленность исследований, внедрение результатов в промышленность; консультирование учеников, подготовка их выступлений на магнитном коллоквиуме и конференциях, выполнение сотрудниками сложных, но выполнимых экспериментальных заданий</p>
Социокультурное	<p>1) Взаимодействие с другими научными школами: проводил экспериментальные исследования под руководством П.Н. Лебедева — создателя первой в России научной физической школы.</p> <p>2) Взаимоотношения научной школы и государства, оценка ее деятельности обществом: в 1927 г. В.К. Аркадьев был избран членом-корреспондентом АН СССР. Благодаря его инициативе была создана лаборатория электромагнетизма, на базе которой были организованы другие научные центры,</p>

открыта практическая специальность «Электрические измерения» в МГУ. Это привело к появлению высококвалифицированных специалистов в области спектроскопии, электро- и радиотехники, талантливых инженеров.

В.К. Аркадьев активно участвовал в работе ОТН АН СССР, возглавляя Комиссию по магнитным и проводниковым материалам. Его деятельность была связана с решением актуальных задач электротехники и промышленности. На базе лаборатории электромагнетизма были сформированы кафедры «Теоретические основы электротехники», магнетизма в МГУ.

Из научной школы В.К. Аркадьева вышли три академика (АН СССР, Белорусской АН и АН Латвийской ССР), множество докторов физико-математических наук, заведующих кафедрами различных университетов и институтов нашей страны

**Научная школа Б.А. Введенского
по исследованию распространения УКВ**

Измерения научной школы	Параметры научной школы
Научно-содержательное	<p>1) Теоретические и практические результаты, полученные научной школой: разработка и обоснование «квадратичной формулы», дифракционной формулы, решение задач в области геометрической оптики, связанных с определением траектории распространения УКВ в тропосфере и влиянием на этот процесс рефракции в атмосфере, создание методов расчета поля при ДТР, конструирование радиоаппаратуры и проведение с ее помощью опытов по распространению УКВ, создание первой радиовещательной станции на УКВ, построение графиков для расчета дифракционного поля УКВ, исследование влияния метеорологических условий на распространение УКВ, освоение диапазона сантиметровых и миллиметровых волн, выполнение работ, связанных с оборонной тематикой.</p> <p>2) Исследовательская программа (или исследовательские программы), по которой(ым) работает научная школа: теоретическое и экспериментальное изучение особенностей распространения УКВ.</p> <p>3) Тематика исследований научной школы: генерация, распространение и прием УКВ, работы в области ДТР, радиометеорология, освоение диапазона сантиметровых и миллиметровых волн.</p> <p>4) Написание монографий, обобщающих теоретические и практические результаты научной школы: «Основы теории распространения радиоволн» (1934 г.), совместно с А.Г. Аренбергом «Распространение ультракоротких волн» (1934 г, 1938 г.) и «Радиоволноводы», совместная с М.А. Колосовым и А.В.</p>

	<p>Соколовым статья «Исследования распространения метровых, дециметровых, сантиметровых и субмиллиметровых радиоволн» (1967 г.), книга в соавторстве с М.А. Колосовым «Распространение радиоволн при космической связи» (1969 г.).</p> <p>5) Внедрение разработок в различные технологии, ВПК: выполнение с 1935 г. работ по оборонной тематике и радиолокации (в частности, НИР «Волна»)</p>
Научно-организационное	<p>1) Институциональное оформление (место локализации) научной школы: лаборатория УКВ ВЭИ, НИИ-9, ЦНИИ-108, ИРЭ АН СССР.</p> <p>2) Наиболее активный период деятельности научной школы: 1923–1969 гг. (начало работы Б.А. Введенского в ГЭЭИ — выход в свет его последней монографии «Распространение радиоволн при космической связи»).</p> <p>3) Радиофизические центры, выросшие на основе научной школы: деятельность Б.А. Введенского и его сотрудников способствовала развитию ЦНИРТИ и ИРЭ АН СССР</p>
Научно-образовательное	<p>1) Наличие лидера (руководителя) научной школы: Б.А. Введенский.</p> <p>2) Коммуникативное ядро научной школы: семинары в различных вузах, «домашний семинар».</p> <p>3) Чтение лекций и проведение семинаров участниками научной школы: чтение лекций по физике на фабрике военно-полевых телефонов в Москве, курса «Теория электричества» в Военной электротехнической академии, лекций по физике в Коммунистическом университете им. Я.М. Свердлова, курсов, посвященных теории переменных токов, теории поля, катодным лампам в МГУ и других вузах, обсуждение научных проблем на семинарах в различных вузах, проведение «домашних семинаров».</p>

	<p>4) Формирование кадрового состава (представителей) научной школы: участниками школы становились сотрудники лабораторий УКВ ВЭИ, НИИ-9, ЦНИИ-108 и ИРЭ АН СССР.</p> <p>5) Написание учебных курсов и пособий для студентов: курс лекций Б.А. Введенского «Изучение и распространение электромагнитных волн. Ч. I (Вертикальный диполь)», прочитанного им в МГУ, программа курса лекций «Применение катодных ламп в электрометрии» для студентов, обучающихся по специальности «Электрические измерения», монографии по вопросам распространения радиоволн</p>
Личностно-психологическое	<p>1) Взаимодействие руководителя научной школы и его учеников: в рамках совместных работ в лабораториях УКВ ВЭИ, НИИ-9, ЦНИИ-108, ИРЭ АН СССР, семинарских занятий (в различных вузах и дома).</p> <p>2) Стилль руководства в научной школе: практическая направленность исследований, передача ученикам опыта проведения экспериментов по распространению радиоволн, конструирования радиоаппаратуры; Б.А. Введенский учил критически анализировать получаемые результаты, тщательно их проверять, писать научные статьи и обзоры; доброжелательная атмосфера научного поиска, простота в общении с учениками, требовательность к качественному оформлению публикуемых материалов</p>
Социокультурное	<p>1) Взаимодействие с другими научными школами: проводил экспериментальные исследования под руководством В.К. Аркадьева — организатора лаборатории электромагнетизма им. Дж.К. Максвелла и М.В. Шулейкина — лидера научной школы в области инженерной радиотехники, теории и практики распространения радиоволн.</p> <p>2) Взаимоотношения научной школы и государства, оценка ее деятельности обществом: в 1943 г. Б.А. Введенский был избран действительным членом Академии наук СССР. За работы в области</p>

радиофизики и радиотехники ему была присуждена золотая медаль им. А.С. Попова (1949 г.). Б.А. Введенский — лауреат Государственной премии (1952 г.), Сталинской премии 2-ой степени (1952 г.), награжден орденами Ленина (1945, 1953, 1963 гг.) и Трудового Красного Знамени (1953 г.).

Б.А. Введенский — заместитель председателя (1945 г.), председатель (1947–1951 гг.) Всесоюзного Научного совета по радиофизике и радиотехнике АН СССР, председатель Научного совета по распространению радиоволн АН СССР (1954–1969 гг.), председатель секции по научной разработке проблем радиотехники АН СССР (1944–1954 гг.).

Б.А. Введенский принимал активное участие в развитии радиолобительства в нашей стране, читал лекции на радиолобительских курсах, писал научно-популярные книги и статьи по вопросам радио, материалы по истории развития радиотехники. В 1951 по 1958 гг. он был главным редактором второго издания БСЭ. Под руководством Б.А. Введенского были проведены подготовительные работы к выпуску третьего издания БСЭ, а также вышли в свет третье издание Малой советской энциклопедии, трехтомный и двухтомный энциклопедические словари, Физический энциклопедический словарь.

Из научной школы Б.А. Введенского вышло множество докторов технических наук, специалистов в области теории и практики распространения УКВ

Научная школа Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси

Измерения научной школы	Параметры научной школы
Научно-содержательное	<p>1) Теоретические и практические результаты, полученные научной школой: создание новых схем и принципов, реализованных в различных радиотехнических устройствах, формирование и развитие теории нелинейных колебаний, ее методов и основополагающих идей, теоретическое обоснование различных видов резонанса, разработка радиоинтерференционных методов определения скорости распространения радиоволн и измерения расстояний, изобретение параметрических генераторов, формулировка идей радиолокации Луны и исследования радиоизлучения Солнца.</p> <p>2) Исследовательская программа (или исследовательские программы), по которой(ым) работает научная школа: создание теории нелинейных колебаний и применение ее математического аппарата, методов и идей к решению различных задач радиотехники, формирование «нелинейного стиля мышления».</p> <p>3) Тематика исследований научной школы: теория линейных и нелинейных колебаний, ламповая радиотехника, изучение различных видов резонанса, генерация параметрических колебаний, радиоинтерференционные методы определения скорости распространения радиоволн и измерения расстояний, конструирование радиотехнических устройств.</p> <p>4) Написание монографий, обобщающих теоретические и практические результаты научной школы: их системное описание приведено в книге А.А. Андропова, А.А. Витта и С.Э. Хайкина «Теория колебаний. Часть I» (1937 г.), а также в собраниях научных трудов Л.И. Мандельштама (в пяти томах) и Н.Д.</p>

	<p>Папалекси.</p> <p>5) Внедрение разработок в различные технологии, ВПК: создание промышленных образцов параметрических машин, использование радиоинтерференционных методов в навигации, гидрографии и геодезии, применение различных схем и принципов при конструировании радиостанций и других технических объектов</p>
Научно-организационное	<p>1) Институциональное оформление (место локализации) научной школы: лаборатория высокочастотной физики ЦРЛ, сектор нелинейных колебаний отдела научной радиотехники ЛЭФИ, лаборатории в ЛИИ и ЭНИН, МГУ, лаборатория колебаний ФИАН.</p> <p>2) Наиболее активный период деятельности научной школы: 1924–1947 гг. (начало работы Л.И. Мандельштама и Н.Д. Папалекси в лаборатории высокочастотной физики ЦРЛ — руководство Н.Д. Папалекси лабораторией колебаний ФИАН). В этот временной отрезок также укладывается деятельность научной школы Л.И. Мандельштама в МГУ (1925–1944 г.), которая была прервана в связи с его кончиной, но продолженная его учениками.</p> <p>3) Радиофизические центры, выросшие на основе научной школы: кафедра колебаний (теории колебаний, физики колебаний) физического факультета МГУ, радиофизический факультет ГГУ</p>
Научно-образовательное	<p>1) Наличие лидера (руководителя) научной школы: Л.И. Мандельштам и Н.Д. Папалекси.</p> <p>2) Коммуникативное ядро научной школы: лекции и семинары в различных вузах (особое значение для развития теории нелинейных колебаний имели лекции и семинары Л.И. Мандельштама в МГУ).</p> <p>3) Чтение лекций и проведение семинаров участниками научной школы: чтение Л.И. Мандельштамом лекций по различным вопросам физики в Страсбургском университете, в Новороссийском университете</p>

	<p>(в этом учебном заведении Н.Д. Папалекси читал лекции по теоретической электротехнике, метеорологии, теории колебаний), проведение Н.Д. Папалекси в ЛИИ лекций по физике вакуума, по термоионным приборам, семинаров по специальным вопросам радиотехники; чтение Л.И. Мандельштамом лекций и проведение семинаров по теории нелинейных колебаний в МГУ.</p> <p>4) Формирование кадрового состава (представителей) научной школы: участниками школы становились сотрудники лабораторий высокочастотной физики ЦРЛ, сектора нелинейных колебаний ЛЭФИ, лабораторий ЛИИ и ЭНИН, лаборатории колебаний ФИАН, студенты и аспиранты физического факультета МГУ.</p> <p>5) Написание учебных курсов и пособий для студентов: монография Н.Д. Папалекси «Об эволюции понятия резонанса», доклады Н.Д. Папалекси, посвященные актуальным вопросам радиотехники и теории колебаний (в частности, обзор «Исследования в области нелинейных колебаний, проведенные в СССР с 1935 г.»), монография Л.И. Мандельштама «Параметрические колебания» (1942–1944 гг.) и др.</p>
<p>Личностно-психологическое</p>	<p>1) Взаимодействие руководителя научной школы и его учеников: в рамках совместных работ в лаборатории высокочастотной физики ЦРЛ, секторе нелинейных колебаний ЛЭФИ, лабораториях в ЛИИ и ЭНИН, лаборатории колебаний ФИАН, на физическом факультете МГУ, семинарских занятиях в различных вузах.</p> <p>2) Стиль руководства в научной школе: стремление к обучению молодых специалистов, непрерывное научное общение учителя и его учеников на семинарах и вне институтских занятий, активное коллективное и индивидуальное обсуждение новых идей, гипотез, полученных результатов, особая атмосфера доброжелательности и научного творчества, царившая на семинарах, высокая</p>

	<p>требовательность к своим сотрудникам, обсуждение научных результатов, поощрение самостоятельности и инициативы в проведении научных исследований</p>
Социокультурное	<p>1) Взаимодействие с другими научными школами: Л.И. Мандельштам и Н.Д. Папалекси работали в тесном контакте с Нижегородской радиофизической школой А.А. Андропова.</p> <p>2) Взаимоотношения научной школы и государства, оценка ее деятельности обществом:</p> <p>итоги работ в области теории нелинейных колебаний составили содержание доклада Н.Д. Папалекси на I Всесоюзной конференции по колебаниям, состоявшейся в Москве в 1931 г. Л.И. Мандельштам выступил на ней с докладом о новом научном направлении в теории колебаний.</p> <p>В 1933 г. в Париже состоялась I Международная конференция по нелинейным колебаниям. На ней Н.Д. Папалекси выступил с докладом об исследованиях, выполненных совместно с Л.И. Мандельштамом и их учениками в этой области. В совокупности это привело к тому, что СССР стал признанным центром исследований по теории нелинейных колебаний.</p> <p>В 1931 г. Н.Д. Папалекси был избран членом-корреспондентом АН СССР. Л.И. Мандельштам был удостоен этого звания в 1928 г. Н.Д. Папалекси был утвержден председателем группы технической физики ОТН АН СССР, а в 1938 г. — стал заместителем председателя Научного совета (председатель Л.И. Мандельштам) по радиофизике и радиотехнике при АН СССР. Н.Д. Папалекси был назначен также председателем специальной Комиссии по изучению прохождения радиоволн в Арктике. В 1939 г. он был избран действительным членом АН СССР. Л.И. Мандельштам был удостоен этого академического звания в 1929 г.</p> <p>В 1931 г. Л.И. Мандельштам за свои научные достижения был удостоен премии имени Ленина. В 1936 г.</p>

Л.И. Мандельштаму и Н.Д. Папалекси была присуждена первая премия им. Д.И. Менделеева по физике за исследования по теории нелинейных колебаний и распространению радиоволн. В 1942 г. эти исследования были отмечены Сталинской премией I степени. В 1945 г. за выдающиеся заслуги в области радиофизики и радиотехники Н.Д. Папалекси был награжден орденом Ленина.

В 1991 г. Отделением общей физики и астрономии РАН была организована премия имени Л.И. Мандельштама, присуждаемая за лучшие работы по физике.

Н.Д. Папалекси и Л.И. Мандельштам выступали с научно-популярными и историко-научными докладами, собиравшими большую аудиторию. Это способствовало расширению научно-технического кругозора слушателей, повышению интереса к научно-исследовательской деятельности. Из научной школы Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси вышло множество докторов физико-математических наук, специалистов в области теории нелинейных колебаний и применения ее методов к решению радиофизических проблем

Научная школа А.А. Андропова

в области теории нелинейных колебаний и теории автоматического регулирования

Измерения научной школы	Параметры научной школы
Научно-содержательное	<p>1) Теоретические и практические результаты, полученные научной школой: введение понятия автоколебаний, разработка теории автоколебательных систем, в основу которой положена ее связь с качественной теорией дифференциальных уравнений, топологией и общей теорией устойчивости движения, формирование математической базы теории нелинейных колебаний (основным ее инструментом метод точечных отображений), развитие качественной теории дифференциальных уравнений (введение концепции «грубых систем»), решение теоретических и практических проблем теории автоматического регулирования, применение математического аппарата теории нелинейных колебаний к решению конкретных радиофизических задач (изучение явлений «захватывания» и «затягивания» и др.), разработка методологических подходов к исследованию автоколебательных систем и систем с автоматическим регулированием.</p> <p>2) Исследовательская программа (или исследовательские программы), по которой(ым) работает научная школа: создание и усовершенствование теории нелинейных колебаний, основанной на качественной теории дифференциальных уравнений и методе точечных отображений, применение ее методов к различным вопросам радиофизики и теории автоматического регулирования.</p> <p>3) Тематика исследований научной школы: теория нелинейных колебаний, теория автоматического</p>

	<p>регулирования, качественная теория дифференциальных уравнений, общая динамика машин.</p> <p>4) Написание монографий, обобщающих теоретические и практические результаты научной школы: их системное описание приведено в книге А.А. Андропова, А.А. Витта и С.Э. Хайкина «Теория колебаний. Часть I» (1937 г.), обзоры «Некоторые исследования в области нелинейных колебаний, проведенные в СССР, начиная с 1935 г.» и «Новые исследования нелинейных колебаний» (1936 г.).</p> <p>5) Внедрение разработок в различные технологии, ВПК: применение метода точечных преобразований к решению радиотехнических задач, создание фазометрического метода, открытие в Горьком одного из первых в стране вычислительных центров и создание так называемой «машины ГИФТИ», решение трехмерных задач теории автоматического регулирования, которые интересуют специалистов в области проектирования и конструирования устройств автоматического регулирования</p>
<p>Научно-организационное</p>	<p>1) Институциональное оформление (место локализации) научной школы: ГИФТИ (теоретический отдел, отдел теории колебаний и теории автоматического регулирования), ГГУ (кафедра теории колебаний, объединенная кафедра теоретической физики и теории колебаний), ИАТ (семинар в области теории автоматического регулирования).</p> <p>2) Наиболее активный период деятельности научной школы: 1929–1952 гг. (публикация фундаментальной работы А.А. Андропова «Предельные циклы Пуанкаре и теория колебаний», заложившей основу его исследовательской программы, — смерть ученого). После 1952 г. научная школа в области теории нелинейных колебаний продолжила развиваться, благодаря ученикам и последователям А.А. Андропова. То же самое касается и его научной школы в области теории автоматического регулирования.</p>

	<p>3) Радиофизические центры, выросшие на основе научной школы: радиофизический факультет ГГУ, НИРФИ, НИИ ПМК, ИПФ; научная школа А.А. Андропова стала прародительницей Нижегородской радиофизической школы</p>
<p>Научно-образовательное</p>	<p>1) Наличие лидера (руководителя) научной школы: А.А. Андронов.</p> <p>2) Коммуникативное ядро научной школы: особое значение для развития теории нелинейных колебаний и теории автоматического регулирования имели лекции и семинары, проводимые А.А. Андроновым в ГГУ (семинары по теории нелинейных колебаний, качественной теории динамических систем, теории электрических машин и др.) и ИАТ (научный семинар в области теории автоматического регулирования).</p> <p>3) Чтение лекций и проведение семинаров участниками научной школы: чтение А.А. Андроновым лекций во 2-ом МГУ на кафедре теоретической физики, лекционных курсов «Теория колебаний», «Теория электромагнитного поля» в ГГУ, публичных лекций. Высокую научную и педагогическую роль играл городской семинар по теории колебаний, которым руководили сотрудники А.А. Андропова Ю.И. Неймарк и Е.А. Леонтович. Многие последователи А.А. Андропова (Н.В. Бутенин, Н.Н. Баутин, Ю.И. Неймарк и др.) стали преподавателями вузов и читали лекции для студентов (в том числе, по теории колебаний).</p> <p>4) Формирование кадрового состава (представителей) научной школы: участниками школы становились студенты и аспиранты ГГУ и ГИФТИ, радиофизического факультета ГГУ.</p> <p>5) Написание учебных курсов и пособий для студентов: написание книги «Теория колебаний. Часть I»; в ГГУ А.А. Андронов разработал множество учебных планов и программ, создал курс теории колебаний,</p>

	справочник для поступающих в ГГУ и др.
Личностно-психологическое	<p>1) Взаимодействие руководителя научной школы и его учеников: в рамках лекционных и семинарских занятиях в ГИФТИ, ГГУ и ИАТ.</p> <p>2) Стиль руководства в научной школе: стремление к обучению молодых специалистов, высокая требовательность, ответственность, принципиальность, научный и педагогический энтузиазм, акцент на формирование нелинейного мышления и нелинейной колебательной культуры, коллективный поиск решения задач в области теории нелинейных колебаний и теории автоматического регулирования, обсуждение новых идей, методов, полученных результатов, стремление к созданию в каждом рассматриваемом вопросе стройной логической системы</p>
Социокультурное	<p>1) Взаимодействие с другими научными школами: А.А. Андронов и его ученики работали в тесном контакте с научной школой Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси.</p> <p>2) Взаимоотношения научной школы и государства, оценка ее деятельности обществом: Не являясь членом-корреспондентом АН СССР, А.А. Андронов 30 ноября 1946 г. был сразу избран академиком по ОТН (механика, радиофизика, автоматическое регулирование). В 1947 г. он стал депутатом Верховного Совета РСФСР, а в 1950 г. — депутатом Верховного Совета СССР. Благодаря А.А. Андронову и его сотрудникам, уровень преподавания и подготовка специалистов по физике и математике в ГГУ достигли уровня столичных вузов. А.А. Андронов реабилитировал научное имя И.А. Вышнеградского (ряд авторов считали, что он допустил математические ошибки), а также открыл ряд его забытых научных достижений. По инициативе и под руководством А.А. Андронина была проведена большая работа по изучению жизни и</p>

деятельности Н.И. Лобачевского. Эти изыскания в значительной степени способствовали тому, что Нижегородский университет носит имя Н.И. Лобачевского.

С 1971 г. АН (затем РАН) присуждает премию им. А.А. Андропова за выдающиеся работы в области классической механики и теории управления. В разные годы ее лауреатами становились, в том числе, и ученики А.А. Андропова: В.В. Петров (1971 г.), М.В. Мееров (1977 г.), Н.Н. Баутин (1980 г.), Ю.И. Неймарк (1989 г.).

О значимости работ, выполненных А.А. Андроновым и его учениками, также свидетельствует следующий факт. В 1996 г. в Париже состоялась конференция «Андронов и его школа в Горьком», в ходе которой ее участники познакомились с творческим наследием этой школы.

Теоретические подходы, развитые А.А. Андроновым и его учениками, широко используются представителями Нижегородской радиофизической школы. В настоящее время ее тематика охватывает математические аспекты теории нелинейных колебаний, разработку и обоснование математических методов и приемов исследования динамических систем в различных областях науки — от механики и теории управления до биологии и экономики

Научная школа Г.С. Горелика

в области теории нелинейных колебаний и статистической радиофизики

Измерения научной школы	Параметры научной школы
Научно-содержательное	<p>1) Теоретические и практические результаты, полученные научной школой: создание общей теории неавтономных линейных параметрических систем, обобщение понятий резонанса, селективности и расстройки, выполнение работ в области теории нелинейных колебаний, введение понятия параметрической связи, составление классификации линейных систем с периодически изменяющимися параметрами, рассмотрение резонансных явлений, возникающих при действии внешней силы на линейные системы с периодически изменяющимися параметрами, создание метода «авторезонанса», решение различных задач теории автоматического регулирования, разработка методов определения быстроты обмена энергией между степенями свободы молекул газа и демодуляционного анализа света, изучение вопросов, связанных с флуктуациями в колебательных системах (например, создание метода измерения естественной ширины линии лампового генератора), изучение рассеяния волн на хаотически движущихся неоднородностях, формирование основ статистической радиолокационной метеорологии, рассмотрение систем с запаздывающей обратной связью.</p> <p>2) Исследовательская программа (или исследовательские программы), по которой(ым) работает научная школа: применение колебательного подхода к различным вопросам науки и техники, исследование свойств вещества и излучения радиофизическими методами.</p>

	<p>3) Тематика исследований научной школы: изучение вопросов генерации и распространения УКВ, исследования в области теории колебаний, теории автоматического регулирования, радиофизики, оптики, магнетизма и акустики.</p> <p>4) Написание монографий, обобщающих теоретические и практические результаты научной школы: их системное описание приведено в обзоре «Новые исследования нелинейных колебаний» (1936 г.), докладе «Нелинейные колебания, интерференция и флуктуации» (1949 г.), книге «Колебания и волны. Введение в акустику, радиофизику и оптику» (первое издание вышло в 1950 г.).</p> <p>5) Внедрение разработок в различные технологии, ВПК: создание магнитометра нового типа — эрстедметра, различные приложения фазометрического метода, разработанные модели статистической радиолокационной метеорологии применяют для исследования различных метеорологических объектов, в том числе облаков, осадков, а также отражений от «ясного неба, гетеродинирование света (или метод «фотосмещения») широко используется в лазерной оптике</p>
Научно-организационное	<p>1) Институциональное оформление (место локализации) научной школы: кафедра общей физики ГГУ и отдел теории колебаний (затем — радиофизики) ГИФТИ, кафедра общей физики МФТИ, лаборатория статистической радиофизики ИРЭ.</p> <p>2) Наиболее активный период деятельности научной школы: 1938–1956 гг. (с начала работы Г.С. Горелика в ГГУ в должности профессора и заведующего кафедрой общей физики на физико-математическом факультете — смерть Г.С. Горелика).</p> <p>3) Радиофизические центры, выросшие на основе научной школы: радиофизический факультет ГГУ</p>
Научно-образовательное	1) Наличие лидера (руководителя) научной школы: Г.С. Горелик.

2) Коммуникативное ядро научной школы: лекции и семинары, проводимые Г.С. Гореликом в различных вузах (ГГУ, ГИФТИ, МФТИ).

3) Чтение лекций и проведение семинаров участниками научной школы: чтение Г.С. Гореликом курсов общей физики и теории колебаний на физическом факультете МГУ, участие в проведении семинаров Л.И. Мандельштама и руководство дипломниками и аспирантами. Совместно с М.А. Леонтовичем Г.С. Горелик проводил семинар для аспирантов, посвященный вопросам оптики и теории колебаний. В ГГУ Г.С. Горелик читал курс физических основ радиотехники, а в МФТИ — курс общей физики. Будучи членом Всесоюзного общества по распространению политических и научных знаний, Г.С. Горелик читал популярные лекции на заводах в Горьком.

Одна из его учениц А.Г. Любина в 1953–1957 гг. была заведующей кафедрой общей физики. При ее участии было издано 10 учебно-методических пособий. Многие последователи Г.С. Горелика, восприняв его особый стиль преподавания, стали незаурядными лекторами.

4) Формирование кадрового состава (представителей) научной школы: участниками школы становились сотрудники лаборатории колебаний НИИФ МГУ, студенты и аспиранты ГИФТИ, ГГУ, МФТИ, сотрудники лаборатории статистической радиофизики ИРЭ.

5) Написание учебных курсов и пособий для студентов: написание материала «Термодинамика и молекулярная физика», который вошел составной частью в учебник «Курс физики» (под ред. Н.Д. Папалекси), создание университетского курса физики ГГУ и множества учебно-методических материалов. Один из учеников Г.С. Горелика — С.М. Козел — известен как автор учебников, учебных пособий и сборников задач для высшей и средней школы

<p>Личностно-психологическое</p>	<p>1) Взаимодействие руководителя научной школы и его учеников: в рамках совместных работ в НИИФ МГУ, ГИФТИ, ГГУ, МФТИ, ИРЭ, семинарских и лекционных занятий в различных вузах.</p> <p>2) Стил ь руководства в научной школе: стремление к обучению молодых специалистов, проявление интереса к результатам последних достижений науки и техники, генерация и обсуждение новых идей с сотрудниками, обучение учеников четкому изложению своих мыслей, внимательное отношение к молодым специалистам, посещение вместе с ними семинаров и конференций, формирование у учеников умения мыслить нестандартно и самостоятельно</p>
<p>Социокультурное</p>	<p>1) Взаимодействие с другими научными школами: Г.С. Горелик и его сотрудники работали в тесном сотрудничестве с научными школами Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси и А.А. Андропова.</p> <p>2) Взаимоотношения научной школы и государства, оценка ее деятельности обществом: Г.С. Горелик был одним из организаторов Всесоюзной конференции по колебаниям, состоявшейся 1931 г. в СССР. Полученные Г.С. Гореликом научные результаты были настолько ценными, что на основании защиты его кандидатской диссертации Совет физического факультета МГУ присудил ему степень доктора физико-математических наук. Это решение было утверждено ВАК в 1935 г.</p> <p>Некоторое время Г.С. Горелик был деканом физико-математического факультета ГГУ (1946–1947 гг.). Он руководил специальностью «радиофизика» и создал новый курс статистической радиофизики. Кроме того, Г.С. Горелик значительное внимание уделял организации радиотехнического и радиофизического факультетов в МФТИ.</p> <p>Г.С. Горелик — один из признанных основателей радиофизического факультета ГГУ. Из его научной школы вышло множество высококвалифицированных ученых и педагогов</p>

**Научная школа Ю.Б. Кобзарева
в области радиолокации**

Измерения научной школы	Параметры научной школы
Научно-содержательное	<p>1) Теоретические и практические результаты, полученные научной школой: изучение проблемы дальнего радиообнаружения самолетов, разработка принципов построения когерентно-импульсной радиолокационной техники, основ теории оптимальной обработки радиолокационных сигналов, теории статистической радиолокации, создание и внедрение новых поколений РЛС, исследования в области изучения электромагнитных колебаний в СНЧ-диапазоне, разработка методов дистанционного зондирования атмосферы и земной поверхности в СВЧ-диапазоне.</p> <p>2) Исследовательская программа (или исследовательские программы), по которой(ым) работает научная школа: создание теоретических основ радиолокации, разработка активных и пассивных радиолокационных устройств и их применение в различных областях науки, техники и оборонной промышленности.</p> <p>3) Тематика исследований научной школы: разработка теории и методов активной и пассивной радиолокации, конструирование различных РЛС.</p> <p>4) Написание монографий, обобщающих теоретические и практические результаты научной школы: их описание приведено в отчетах по выполнению НИР.</p> <p>5) Внедрение разработок в различные технологии, ВПК: создание промышленных образцов импульсных</p>

	<p>РЛС («РУС-2», разработка когерентно-импульсных РЛС («П-15», «П-19» и др.), новых поколений РЛС в рамках НИР «Горизонт», выполнение различных НИР в НИИ-20 и ИРЭ, использование методов дистанционного зондирования в целях экологического мониторинга</p>
<p>Научно-организационное</p>	<p>1) Институциональное оформление (место локализации) научной школы: НИИ-20, ИРЭ.</p> <p>2) Наиболее активный период деятельности научной школы: 1945–1992 гг. (формирование новых лабораторий и отделов в НИИ-20 и ИРЭ, возглавляемых Ю.Б. Кобзаревым, — завершение его работы в ИРЭ).</p> <p>3) Радиофизические центры, выросшие на основе научной школы: кафедра радиотехнических приборов МЭИ, лаборатория дистанционного зондирования атмосферы ИРЭ; по инициативе Ю.Б. Кобзарева было организовано несколько отделов и лабораторий в НИИ-20 и ИРЭ</p>
<p>Научно-образовательное</p>	<p>1) Наличие лидера (руководителя) научной школы: Ю.Б. Кобзарев.</p> <p>2) Коммуникативное ядро научной школы: семинары на кафедре радиотехнических приборов МЭИ, семинары в НИИ-20 и ИРЭ.</p> <p>3) Чтение лекций и проведение семинаров участниками научной школы: лекции и семинары на кафедре радиотехнических приборов МЭИ, семинары в отделе № 44 НИИ-20, лекции для сотрудников НИИ-20 по вопросам радиолокации и статистической радиотехники, семинары по вопросам статистической теории радиолокации в ИРЭ. Ю.Б. Кобзарев был инициатором введения курсов по теории колебаний в учебные программы вузов.</p> <p>Один из представителей научной школы Ю.Б. Кобзарева А.Е. Башаринов одновременно с работой в ИРЭ преподавал в МЭИ, где читал на радиотехническом факультете курсы «Основы радиолокации»,</p>

	<p>«Радиотехнические системы».</p> <p>4) Формирование кадрового состава (представителей) научной школы: участниками школы становились студенты и аспиранты кафедры радиотехнических приборов МЭИ, сотрудники лабораторий и отделов НИИ-20 и ИРЭ. Под руководством Ю.Б. Кобзарева в МЭИ были разработаны основополагающие концепции подготовки радиоспециалистов в области радиолокации, составлены учебные программы. За период работы в МЭИ (1944–1955 гг.) Ю.Б. Кобзаревым было подготовлено много высококвалифицированных специалистов, кандидатов и докторов наук.</p> <p>5) Написание учебных курсов и пособий для студентов: создание центрального курса кафедры радиотехнических приборов МЭИ «Принципы радиолокации», выход под редакцией Ю.Б. Кобзарева книги Р.С. Берковица «Современная радиолокация (анализ, расчет и проектирование систем), написание Ю.Б. Кобзаревым пособий «В помощь аспиранту»</p>
<p>Личностно-психологическое</p>	<p>1) Взаимодействие руководителя научной школы и его учеников: в рамках совместных работ по различным НИР, проводимым в НИИ-20 и ИРЭ, семинарских занятий и лекций, заседаний кафедры радиотехнических приборов МЭИ, многочисленных консультаций.</p> <p>2) Стиль руководства в научной школе: практическая направленность исследований (конструирование РЛС и внедрение их в промышленность), передача ученикам опыта постановки и проведения экспериментов в области радиолокации, ориентация на подготовку специалистов широкого профиля, создание в коллективе деловой обстановки и атмосферы исключительной доброжелательности, стремление к взаимодействию и взаимопомощи, обмену идеями и опытом, формирование умения решать сложные вопросы наиболее простым способом</p>

Социокультурное	<p>1) Взаимодействие с другими научными школами: на этапе зарождения импульсной радиолокации Ю.Б. Кобзарев работал с Д.А. Рожанским, подготовившим множество специалистов в области радиофизики.</p> <p>2) Взаимоотношения научной школы и государства, оценка ее деятельности обществом: в 1953 г. Ю.Б. Кобзарев был избран членом-корреспондентом АН СССР по ОТН, а в 1970 г. — действительным членом АН СССР по отделению «Общая физика и астрономия». Он был удостоен звания Герой Социалистического Труда (1975 г.), награжден различными медалями, четырьмя орденами Ленина, Сталинской премией второй степени (1941 г.) — за изобретение прибора для обнаружения самолетов (совместно с П.А. Погорелко и Н.Я. Чернецовым).</p> <p>Ю.Б. Кобзарев был председателем Научного совета АН по комплексной проблеме «Статистическая радиофизика», одним из создателей журнала «Радиотехника и электроника» и заместителем его главного редактора. В 1980 г. за основополагающие труды в области радиотехники, радиофизики и радиолокации Ю.Б. Кобзареву была присуждена Золотая медаль им. А.С. Попова.</p> <p>Ю.Б. Кобзарев был избран почетным членом НТОРЭС им. А.С. Попова, в создании которого он принимал активное участие. Из научной школы Ю.Б. Кобзарева вышло множество докторов и кандидатов наук, специалистов в области теоретической и прикладной радиолокации. Семь его учеников и ближайших сотрудников были удостоены звания лауреатов Государственной премии СССР. Многие воспитанники научной школы Ю.Б. Кобзарева возглавили различные научные направления, стали главными конструкторами разработок или их заместителями</p>
-----------------	---

**Научная школа С.Э. Хайкина
в области экспериментальной радиоастрономии**

Измерения научной школы	Параметры научной школы
Научно-содержательное	<p>1) Теоретические и практические результаты, полученные научной школой: исследования в области теории нелинейных колебаний, акустики, молекулярной физики (изучение состояния и структуры вещества радиофизическими методами), фазовой локации и навигации самолетов, создание методов и инструментальной базы радиоастрономии.</p> <p>2) Исследовательская программа (или исследовательские программы), по которой(ым) работает научная школа: разработка радиоастрономической аппаратуры и методов, проектирование и конструирование радиотелескопов для проведения астрономических наблюдений в сантиметровом и миллиметровом диапазонах.</p> <p>3) Тематика исследований научной школы: теория нелинейных колебаний (математическая теория захватывания, методы изучения автоколебаний), радиофизические исследования свойств жидкостей и твердых тел, методы и инструментальная база радиоастрономии, проведение радиоастрономических исследований и наблюдений.</p> <p>4) Написание монографий, обобщающих теоретические и практические результаты научной школы: их системное описание приведено в отчетах о результатах КЭ, статьях С.Э. Хайкина, Н.Л. Кайдановского, Н.А. Есепкиной, О.Н. Шивриса «Большой пулковский радиотелескоп» (1960 г.), С.Э. Хайкина, Н.Л.</p>

	<p>Кайдановского, Ю.Н. Парийского, Н.А. Есепкиной «Радиотелескоп РАТАН-600» (1972 г.) и др.</p> <p>5) Внедрение разработок в различные технологии, ВПК: проектирование и создание АПП, их использование в радиоастрономических исследованиях, конструирование радиотелескопов БПР и РАТАН-600</p>
Научно-организационное	<p>1) Институциональное оформление (место локализации) научной школы: сектор радиоастрономии в лаборатории колебаний ФИАН, отдел радиоастрономии ГАО.</p> <p>2) Наиболее активный период деятельности научной школы: 1945–1967 гг. (переход С.Э. Хайкина из МГУ в ФИАН и организация сектора радиоастрономии лаборатории колебаний ФИАН — уход С.Э. Хайкина на пенсию и завершение научных исследований). Указанный период охватывает также деятельность отдела радиоастрономии С.Э. Хайкина в ГАО.</p> <p>3) Радиофизические центры, выросшие на основе научной школы: радиоастрономический сектор САО РАН; ученик С.Э. Хайкина В.В. Виткевич был одним из организаторов экспериментальной базы ПРАО (сейчас ПРАО АКЦ ФИАН)</p>
Научно-образовательное	<p>1) Наличие лидера (руководителя) научной школы: С.Э. Хайкин.</p> <p>2) Коммуникативное ядро научной школы: лекции и семинары на физическом факультете МГУ, семинары и консультации в рамках КЭ.</p> <p>3) Чтение лекций и проведение семинаров участниками научной школы: чтение С.Э. Хайкиным курсов по теории колебаний и теоретической радиотехнике в МИИС, лекций по механике, электричеству и магнетизму на физическом факультете МГУ, проведение семинаров по общему курсу физики, семинаров в рамках КЭ. Представитель научной школы С.Э. Хайкина Н.А. Есепкина была одним из</p>

	<p>ведущих профессоров радиофизического факультета ЛПИ (СПбГТУ). Она разработала и читала курсы лекций «Физическая оптика», «Голография и оптическая обработка информации», «Теоретические основы радиолокации».</p> <p>4) Формирование кадрового состава (представителей) научной школы: участниками школы становились сотрудники ФИАН, студенты и аспиранты ЛПИ и МГУ.</p> <p>5) Написание учебных курсов и пособий для студентов: лекционные материалы С.Э. Хайкина послужили основой для создания учебников «Механика» и «Физические основы механики», написание учебных и методических материалов к курсу общей физики, публикация известной книги учеников С.Э. Хайкина Н.А. Есепкиной, Д.В. Королькова, Ю.Н. Парийского «Радиотелескопы и радиометры» (1972 г.)</p>
Личностно-психологическое	<p>1) Взаимодействие руководителя научной школы и его учеников: в секторе радиоастрономии в лаборатории колебаний ФИАН, в рамках КЭ.</p> <p>2) Стиль руководства в научной школе: обучение аспирантов (учеников Л.И. Мандельштама и Н.Д. Папалекси) в рамках семинаров по теории колебаний, научное общение С.Э. Хайкина и его учеников на семинарах и вне институтских занятий (в ходе проведения радиоастрономических наблюдений и исследований)</p>
Социокультурное	<p>1) Взаимодействие с другими научными школами: С.Э. Хайкин работал с некоторыми участниками научной школы Л.И. Мандельштама и Н.Д. Папалекси.</p> <p>2) Взаимоотношения научной школы и государства, оценка ее деятельности обществом: С.Э. Хайкин и его научная школа принимали активное участие в организации радиоастрономической станции в Крыму и отдела радиоастрономии ГАО. Он был председателем Комиссии по</p>

	<p>радиоастрономии Астрономического совета СССР, а впоследствии — членом бюро Совета по комплексной проблеме «Радиоастрономия» АН СССР. В 1953 г. С.Э. Хайкин был награжден орденом Трудового Красного Знамени.</p> <p>В 1965 г. за выдающиеся работы в области радиофизики и радиоастрономии он был удостоен Золотой медали им. А.С. Попова. На основе достижений научной школы С.Э. Хайкина было защищено более 25 кандидатских и 10 докторских диссертаций. Пулковский коллектив радиоастрономов составил ядро радиоастрономического сектора САО, где под руководством ученика С.Э. Хайкина Ю.Н. Парийского разрабатываются радиоастрономические методы и ведутся различные астрофизические исследования</p>
--	---

Письмо В.К. Аркадьева Л.Д. Ландау

Источник: АРАН. Ф. 641. Оп. 3. № 92. Л. 1, 1об

Владимир Константинович
АРКАДЬЕВ
 Член-Корреспондент Академии Наук СССР
 Москва 34, ул. Кропоткина 27 кв. 7
 Тел. № Г-6-07-94

АКАДЕМИКУ Л. Д. ЛАНДАУ
 - - - - -

10.УП-50 г.

Глубокоуважаемый

Лев Давидович!

В № 5 журнала Физикель Ревью 78, 572, 1950, статья Блембергера начинается словами, что в 1935 г. Ландау и Лифшиц опубликовали фундаментальную работу о ферромагнитной проницаемости и предсказали существование эффекта резонанса и что впервые этот эффект экспериментально наблюдал Гриффитс в 1946 г.

В англо-американской литературе часто повторяется настойчивая фраза об его приоритете в открытии резонанса в ферромагнетиках.

Учитывая, что Вы не раз выступали в Физикель Ревью с разъяснениями по разным вопросам, думаю, что Вы найдете справедливым и возможным и в настоящем случае послать в Физикель Ревью "Письмо в Редакцию" с изложением истинного положения дела. С точки зрения достоинства нашей отечественной науки было бы целесообразно, если бы Вы выступили с Вашим авторитетным разъяснением, что резонанс элементарных носителей магнетизма впервые был открыт в Москве в 1913 г., когда был найден собственный период и затухание носителей магнетизма в разных образцах железной и никеле-

вой проволоки, и что в 1935 г. совместно с Е. М. Лифшицем Вы дали новую теорию этого явления.

Всем известно, с каким мастерством Вам это удалось сделать.

Вы знаете, что в связи с нашими экспериментальными работами в 1913 г. нами были введены постоянно ныне применяемые в теории комплексная магнитная проницаемость и восприимчивость и величины μ_k и μ_n , а также μ_x и μ_z . Они фигурируют в статье Блембергера, см. его ур. /9/, /15/ и /16/. Данная нашими формулами 1913 г. зависимость комплексной проницаемости от частоты совпадает с таковой формул Блембергера, а также Френкеля /1945 г./, хотя она была получена из совсем других предпосылок.

Пользуюсь случаем, чтобы переслать Вам несколько оттисков наших работ на тему о магнитном резонансе ферромагнетиков.

В ожидании Вашего ответа готовый к услугам



/В. Аркадьев/

Письмо А.А. Андропова Н.Д. Папалекси

Источник: АРАН. Ф. 600. Оп. 4. № 9.

Глубокоуважаемый Николай Дмитриевич!

Я был более почти две недели и поэтому ничего Вам не послал с Мартыновым и не был на его докладе.

Я самым искренним образом все благодарю за предпринятое Вами шаги по поводу моего избрания в члены-корреспонденты Академии Наук и мне совет, что добавляю Вам (и Л.И.) сразу в своем письме. Что касается представления от Горьковского Университета, то новидному оно сойдет в ближайшие дни (вероятно 17/5) и все необходимые бумаги будут посланы.

Вы пишете далее о теории гасов. Что именно Вам нужно?

Напишите математическую формулировку задачи

и я Вам сейчас же, с радостью, отвечу, если у меня

что-либо в этом направлении. Дело в том, что у меня есть довольно большой материал (неопубликованный) связанный с различными разрывными характеристиками, в том числе ряд задач, имеющих отношение к теории гасов. Большая часть этого материала относится к случаям с $1\frac{1}{2}$ степенями свободы и с действительной внешней силой на систему с $1\frac{1}{2}$ степенями свободы и с 1 степенью свободы.

Обратили ли Вы внимание на резкое повышение интереса к нелинейным колебаниям в Америке?

Новидному, что связано, в известной мере, с потребностями теории релаксации. В Америке уже сошлись две конкретные по теории нелинейных колебаний. Одна в январе 1942 года в Нью-Йорке, другая - в августе 1942 года - в Провиденсе вблизи

Нью-Йорк. На второй конференции был специальный доклад (Минорский) о "recent Russian work on applications of the topological methods of Poincaré to the discussion of problems in Non-Linear Mechanics..."

Кроме того, после обращения Кармана к американским математикам с призывом заниматься нелинейными проблемами, начали появляться работы русских математиков (например Н. Ливенсон) посвященные нелинейным колебаниям.

В Горьком я сейчас возобновил работу по теории регулирования и вероятно, в самое ближайшее время, буду вас просить представить в "Доклады" две заметки, связанные с теорией регулирования и теорией упругой работы синхронных машин. Последняя заметка интересна тем ~~что~~ (на мой взгляд) что там идет речь об использовании метода Hill'a, примененно им в ~~этой~~ определенном месте 3^й раз к проблеме упругой работы 3^х синхронных машин. В сущности - это ~~то~~ применение одной старой работы А.А. Горева на языке современной теории дифференциальных уравнений. Мне эти вещи доставили много удовольствия. Не знаю, как их применить к синхронизму. Кроме работ по теории регулирования буду и непосредственно-оборонные работы, но, к сожалению, небольшого масштаба, но отдельные задания.

Искренне уважаю вас

15/II 1943

А. Андронов

P.S. Если вам придется писать от меня что-то (например по теории слов) - разрешите с Бернштейном.

Некоторые современные радиофизические центры

В этом фрагменте рассказано об истории развития и результатах деятельности четырех современных радиофизических центров, которые сформировались на основе описанных выше научных школ. При изучении эволюции данных центров мы не будем использовать принятую нами ранее схему, так как они активно функционируют в настоящее время.

Сделаем одно важное уточнение. Совсем не обязательно, что научная школа, в конечном счете, распадается (по мнению ряда историков науки, творческий цикл школы охватывает примерно 20–25 лет). Возможны ситуации, при которых она под действием различных факторов трансформируется в другие научные школы или новые формы организации науки (НИИ, научно-производственные кластеры, научно-образовательные центры). На наш взгляд, анализ и учет этих процессов важен не только для реконструкции «жизненного цикла» научной школы, но и с точки зрения проектирования научных учреждений в нашей стране.

Кафедра физики колебаний МГУ.

Научные школы К.Ф. Теодорчика и В.В. Мигулина

В главе 4 говорилось, что в 1924–1947 гг. под руководством Л.И. Мандельштама и Н.Д. Папалекси велись интенсивные работы по созданию теории нелинейных колебаний и применению ее математического аппарата и методов к решению радиофизических задач. Одним из ярких представителей их научной школы был Казимир Францевич Теодорчик (1891–1968). Его педагогическая и научная деятельность была неразрывно связана с физическим факультетом МГУ, на котором он проработал почти 50 лет [1; 2].



К.Ф. Теодорчик

В 1912 г. К.Ф. Теодорчик поступил на физико-математический факультет МГУ. Одновременно с ним по специальности «физика» учились С.И. Вавилов, Б.А. Введенский, А.С. Предводителев, Г.С. Ландсберг, С.Н. Ржевкин и др. После окончания

МГУ в течение небольшого промежутка времени К.Ф. Теодорчик был преподавателем математики в Ореховском реальном училище. После возвращения в Москву с 1916 по 1919 гг. он работал на фабрике военно-полевых телефонов Земгора сначала в должности лаборанта, а затем — заведующего измерительной лабораторией и заведующего сборочным отделением фабрики. В измерительной лаборатории К.Ф. Теодорчик проводил исследования и испытания магнитных свойств электротехнических материалов, специальных сортов стали и методов ее закалки. Эти работы в значительной степени определили его дальнейшие научные интересы, которые были всегда связаны с решением технических проблем.

С 1915 г. К.Ф. Теодорчик начал изучать колебательные явления в различных системах (электрических, акустических, термомеханических), в диэлектриках и ферромагнетиках. Наряду с работой в измерительной лаборатории он занимался общими проблемами физики. В 1919 г. К.Ф. Теодорчик был приглашен на физико-математический факультет МГУ в качестве ассистента и был избран ассистентом кафедры физики МГУ. С этого момента университет стал его основным местом работы.

Период с 1919 по 1930 гг. был для К.Ф. Теодорчика временем активной педагогической работы в МГУ (и других вузах Москвы) и научной деятельности в лаборатории электромагнетизма им. Дж.К. Максвелла (см. главу 3). К.Ф. Теодорчику было поручено восстановить систему лекционных демонстраций по электромагнетизму и оптике на кафедре физики МГУ. Незадолго до этого скоропостижно скончался выдающийся демонстратор физического кабинета И.Ф. Усагин. К сожалению, к этому времени не осталось специалистов, которые столь же искусно владели бы приемами и техникой лекционного эксперимента. В связи с этим восстановление работы физического кабинета потребовало много времени и усилий. К.Ф. Теодорчик не только успешно справился с этой задачей, но и предложил новые лекционные демонстрации.

Вообще говоря, вопросам физического образования К.Ф. Теодорчик уделял повышенное внимание. Он разрабатывал и ставил физические демонстрации по общим курсам и по спецкурсам. Под руководством К.Ф. Теодорчика был создан практикум кафедры колебаний в новом здании физического факультета на Ленинских горах. Впоследствии его сотрудница Л.П. Стрелкова защитила кандидатскую диссертацию «Физический практикум по электромагнитным волнам» (1967 г.) и организовала соответствующую лабораторию в общем физическом практикуме.

Параллельно с работой в физическом кабинете К.Ф. Теодорчик проводил исследования в лаборатории электромагнетизма им. Дж.К. Максвелла. По поручению В.К. Аркадьева его сотрудники К.Ф. Теодорчик и Б.А. Введенский организовали в МГУ лабораторию для экспериментальных исследований по специальности «Электрические измерения». В этой лаборатории также вели занятия А.А. Глаголева-Аркадьева, С.Н. Ржевкин, Ю.П. Симанов. Под руководством К.Ф. Теодорчика свои первые научные работы по специальности «электрические измерения» выполнили Н.Н. Малов, Э.С. Лившиц и В.О. Урысон. С 1924 г. К.Ф. Теодорчик начал читать свои первые специальные курсы: «Теория переменных токов», «Катодные лампы», «Электрические измерения». Кроме того, он создал новый специальный курс «Нелинейные и автоколебательные системы».

В начале своей научной деятельности в МГУ К.Ф. Теодорчик занимался актуальными вопросами ламповой радиотехники: изучением поведения диэлектриков и ферромагнетиков в радиочастотных полях. В 1922 г. была опубликована его первая научная работа, посвященная определению диэлектрических постоянных жидкостей в незатухающих электромагнитных полях. В 1921–1925 гг. К.Ф. Теодорчик вместе с Б.А. Введенским провел ряд исследований диэлектрических и магнитных свойств вещества. В частности, ими были обнаружены адсорбционные максимумы в магнитных спектрах железа и никеля на длинах волн 105 м (для железа) и 89 м (для никеля). Результаты этих работ (например, [3]) использовались при решении проблем, связанных с применением железа в радиоаппаратуре.

С 1926 по 1929 гг. К.Ф. Теодорчик был старшим ассистентом физического кабинета и приват-доцентом кафедры физики МГУ. В 1931 г. он стал действительным членом НИИФ. Постепенно на кафедре колебаний (ее название претерпевало ряд изменений: «колебаний», «теории колебаний», «физики колебаний») началась систематическая подготовка физиков по специальности «колебания». Для этого были разработаны соответствующие учебные планы и программы, написан центральный курс «Теория колебаний». Кроме того, специальные курсы, семинары, специальный практикум по физике колебаний, дипломные работы, производственная практика в НИИ и заводских лабораториях обеспечили высокий уровень теоретической и экспериментальной подготовки студентов и аспирантов.

Курс «Теория колебаний» был впервые прочитан Л.И. Мандельштамом в 1930–

1931 и 1931–1932 учебных годах. В дальнейшем его читали Г.С. Горелик, К.Ф. Теодорчик, С.П. Стрелков, В.В. Мигулин, Р.В. Хохлов, В.Н. Парыгин, А.А. Белов, В.И. Лакший. В организации специального практикума кафедры колебаний и чтении специальных курсов активное участие принимали Б.А. Введенский, А.Г. Аренберг, Е.Я. Пумпер. В 1932 г. впервые в СССР в МГУ был выполнен выпуск студентов по специальности «колебания». В то время нигде в мире специалистов такого профиля не выпускали. Тем самым, кафедра колебаний сыграла значительную роль в развитии учения о нелинейных колебаниях и в подготовке высококвалифицированных кадров в области физики колебаний.

В конце 1920-х гг. К.Ф. Теодорчик сфокусировал свое внимание на исследовании нелинейных колебательных явлений, в первую очередь автоколебаний. Первоначально автоколебательные системы рассматривались в радиофизике, акустике, механике. В работах К.Ф. Теодорчика было показано, что автоколебательные процессы широко распространены в динамических системах самой различной физической природы.

В начале 1930-х годов К.Ф. Теодорчик и С.Э. Хайкин опубликовали результаты проведенной работы в области теории автоколебательных систем. Они описали явление акустического захватывания [4], т. е. синхронизации на основном тоне акустических автоколебательных систем (см. главу 5). Открытие этого явления имело принципиальное значение, так как оно продемонстрировало общность законов, управляющих процессами в разных автоколебательных системах.

Впоследствии К.Ф. Теодорчиком и его учениками были выполнены исследования по изучению явления акустического захватывания. Практическим результатом стало создание прибора для измерения интенсивности звука, с помощью которого можно было изучать звуковые поля громкоговорителей в условиях города [5].

В 1935 г. К.Ф. Теодорчик был утвержден в ученой степени доктора физических наук без защиты диссертации и в звании профессора по кафедре теории колебаний. В МГУ он читал курсы экспериментальной физики, спецкурс по автоколебательным системам, лекции для аспирантов по теории электромагнитного поля. С 1939 г. Л.И. Мандельштам по состоянию здоровья уже не мог заведовать кафедрой колебаний. Исполняющим обязанности заведующего этой кафедрой и научным руководителем лаборатории колебаний НИИФ был назначен К.Ф. Теодорчик [6]. В общей сложности он руководил кафедрой в течение 17 лет (1939–1956 гг.). На этот период пришлось

тревожные события: Великая Отечественная война, эвакуация университета в Ашхабад, а затем в Свердловск, возвращение в Москву, восстановление научной и учебной базы университета и физического факультета. С 1949 по 1953 гг. К.Ф. Теодорчик принимал участие в проектировании нового здания МГУ, переезде университета на Ленинские горы, создании новых экспериментальных установок и практикумов.

В 1930-х гг. в результате деятельности научных школ Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси, Н.М. Крылова — Н.Н. Боголюбова была разработана теория автоколебательных систем. Но для реализации ее практических приложений в радиотехнике, автоматике, акустике, этой теории необходимо было придать физически наглядную и математически доступную форму. Этим направлением активно занимался К.Ф. Теодорчик. Здесь уместно привести его слова: «...Я отчетливо чувствовал те трудности, которые встают на пути рядового деятеля техники и науки, когда на него обрушивается вся современная сложная математика с ее большими выкладками, и как трудно за этим точным математическим языком ... бывает ему увидеть те следствия, которые из этих сложных теорий вытекают... Я несколько помог таким рядовым научным работникам разобраться в этих вопросах и изложил их более доступным для них образом» [1. С. 35].

Находясь в эвакуации в 1942–1943 гг., К.Ф. Теодорчик разработал общую теорию синхронизации релаксационных (разрывных) автоколебаний. В 1944 г. вышло из печати первое издание его монографии «Автоколебательные системы» [7], в которой были изложены теория и методы исследования автоколебательных систем. В первую очередь, следует отметить энергетический метод¹ и введенное К.Ф. Теодорчиком представление об энергетических циклах на плоскости «координата — сила».

Энергетический метод стал дальнейшим развитием метода ММА (см. главу 4). Он позволяет находить приближенные решения как для стационарных (почти гармонических) автоколебаний, так и для законов их установления. В ряде случаев (например, при учете гармоник автоколебаний) энергетический метод открывает для изучения явлений в нелинейных системах более широкие возможности, чем метод ММА. С помощью энергетического метода К.Ф. Теодорчику удалось с единой точки зрения рассмотреть явления, происходящие в неавтономном режиме в

¹ Первая публикация «Энергетические циклы автоколебательных систем томсоновского типа», посвященная этому методу, была опубликована К.Ф. Теодорчиком в 1939 г. [8]

автоколебательных системах с малой нелинейностью. Им были описаны захватывание автогенератора, резонанс второго рода, параметрическое и резонансное воздействия на нелинейные колебательные системы.

Книга К.Ф. Теодорчика «Автоколебательные системы» представляла собой наиболее информативный из всех существовавших в то время учебников по теории автоколебаний для физиков и инженеров. В общей сложности в период 1944–1949 гг. он опубликовал около 15 работ, в которых изложил результаты исследований сложных явлений в автоколебательных системах (например, [9]). К.Ф. Теодорчиком были изучены многоконтурные автоколебательные системы, энергетика асинхронных воздействий на генератор, переходные режимы (от гармонических колебаний к разрывным), а также разработана нелинейная теория RC -генераторов.

В 1946 г. на базе существовавших кафедр колебаний, электрических явлений в газах и акустики в МГУ было организовано отделение радиофизики и электроники. В результате появились новые структурные подразделения — кафедры:

- импульсных процессов (заведующий В.В. Мигулин);
- распространения радиоволн (заведующий В.Н. Кессених);
- сверхвысоких частот (заведующий С.Д. Гвоздовер);
- физической электроники (заведующий Н.А. Капцов);
- электронной оптики и осциллографии (заведующий Г.В. Спивак);
- теоретических основ электротехники (заведующий В.К. Аркадьев).

Первые три коллектива были выделены из кафедры колебаний. Примерно в то же время начал работать руководимый К.Ф. Теодорчиком семинар кафедры, на котором обсуждались результаты исследований в области теории нелинейных колебаний. Семинар посещали как работники университета, так и сотрудники ряда других институтов, специалисты в области радиофизики и автоматического регулирования.

Участник семинаров К.Ф. Теодорчика Ф.Б. Конев вспоминал: «... Я, видимо, как и другие участники семинара, получил уроки публичного выступления перед коллегами, коллективного обсуждения работ. Казимир Францевич мягко и чрезвычайно тактично своими вопросами, советами, замечаниями учил нас просто и доходчиво рассказывать о результатах работы, направлял нас на дальнейшие исследования. Особое внимание он всегда уделял четкой и понятной физической трактовке тех проблем, в основном математических, которые мы рассматривали» [1. С. 65].

В 1948 г. в статье [10] К.Ф. Теодорчиком был предложен новый метод исследования колебательных систем — метод траекторий корней. Параллельно К.Ф. Теодорчик и его ученики изучали процессы в сложных автоколебательных системах, как в автономных, так и в неавтономных режимах при наличии различных воздействий.

За три года, прошедшие после переезда МГУ в новое здание на Ленинских горах (1953 г.), были полностью налажены научный и учебный процессы на кафедре колебаний МГУ. В итоге были разработаны новые курсы, увеличилось число оригинальных экспериментальных установок, заработали обновленные практикумы. Вся эта деятельность отнимала много сил у К.Ф. Теодорчика, а он был уже не молод (в 1956 г. ему исполнилось 65 лет). Наступило время передавать руководство кафедрой более молодому специалисту, а самому, сосредоточиться на научной и педагогической работе.

Выбор пал на профессора В.В. Мигулина, много лет работавшего на кафедре колебаний, а с 1946 г. возглавлявшего кафедру импульсных процессов. Значительную часть коллектива этой кафедры составляли сотрудники кафедры колебаний, и поэтому объединение двух кафедр представлялось естественным. В 1956 г. кафедра колебаний и кафедра импульсных процессов были объединены в единую кафедру физики колебаний, при сохранении на кафедре лаборатории колебаний и лаборатории импульсной техники.

К.Ф. Теодорчик продолжил вести научные исследования, руководить аспирантскими работами, участвовать в обобщении результатов, полученных его учениками по изучению нелинейных и автоколебательных систем. Вокруг него сформировалась группа ученых, которую с полным правом можно считать научной школой. Среди ее представителей: М.Д. Карасев, Ф.Б. Конев, Г.А. Бендриков, Л.П. Стрелкова, Г.В. Попова, Г.А. Хавкин, Н.И. Есафов, И.И. Минакова, Г.В. Савинов, А.Г. Иванков, М.Л. Цейтлин и др. Они работали по следующей исследовательской программе: изучение колебаний в линейных и нелинейных системах различной физической природы, разработка методов исследования сложных явлений в автоколебательных системах, в том числе и в системах автоматического регулирования.

Любопытно, что К.Ф. Теодорчик был, вероятно, первым, кто по достоинству оценил научный потенциал Р.В. Хохлова. Он добился его привлечения на кафедру в качестве ассистента, а позднее убедил декана в том, что Р.В. Хохлова необходимо перевести на должность доцента. Как показала история, это решение было абсолютно правильным. В 1954–1958 гг. Р.В. Хохлов разработал метод поэтапного укорочения

уравнений, который стал развитием приближенных методов исследования квазилинейных автоколебательных систем (метод Хохлова) [11]. Кроме того, благодаря усилиям К.Ф. Теодорчика, на кафедре колебаний после окончания учебы в МГУ был оставлен В.Б. Брагинский. Впоследствии он стал выдающимся физиком-экспериментатором, специалистом в области прецизионных квантовых измерений и детектирования гравитационных волн.

Многие результаты работ К.Ф. Теодорчика вошли в учебники по теории колебаний, радиофизике и автоматике. Кроме кафедрального семинара он организовал семинары для сотрудников, работающих под его руководством и связанных с ним по тематике научных исследований. К их числу следует отнести семинары по нелинейным системам, по системам автоматического регулирования, «микросеминары» (как называл их К.Ф. Теодорчик). Он систематически работал с преподавателями, помогал им разрабатывать новые лекционные курсы, вводить новые понятия в учебные программы.

После К.Ф. Теодорчика кафедру физику колебаний возглавил В.В. Мигулин. Владимир Васильевич Мигулин (1911–2002) — академик РАН, ученый-радиофизик с мировым именем. В его научной школе работали коллективы специалистов, решавшие задачи по обеспечению обороноспособности нашей страны и создавшие новые направления в радиофизике [12–15].



В.В. Мигулин

В 1928 г. В.В. Мигулин поступил на физико-механический факультет ЛПИ. Научную деятельность он начал после окончания института в 1932 г. в лаборатории Н.Д. Папалекси в ЛЭФИ (см. главу 4). В.В. Мигулин занимался исследованием нелинейных колебательных систем при наличии параметрической регенерации. После переезда в Москву в 1934 г. он стал сотрудником ФИАН, где под руководством Л.И. Мандельштама и Н.Д. Папалекси активно участвовал в работах в области параметрического возбуждения колебаний и радиоинтерферометрии.

В кандидатской диссертации «Комбинационный резонанс» (1937 г.) В.В. Мигулиным были представлены результаты открытых и изученных им явлений комбинационного резонанса и синхронизации на комбинационных частотах. В 1930-е гг. В.В. Мигулиным были предложены методы расчетов параметрических усилителей и преобразователей, нашедших широкое практическое применение.

Следующий цикл работ В.В. Мигулина был связан с важной в теоретическом и прикладном аспектах проблемой распространения радиоволн [16]. По данной тематике им были выполнены исследования по разработке радиоинтерферометрических методов [17], позволившие выявить фазовую структуру и скорость распространения радиоволн вдоль земной поверхности (см. главу 4). На базе ФИАН в г. Долгопрудном были проведены опыты, цель которых состояла в проверке адекватности теорий, описывающих распространение радиоволн. Для получения экспериментальных данных В.В. Мигулин, предварительно пройдя парашютную подготовку, совершал полеты на воздушном шаре. Отметим, что в работе его экспериментальной группы принимал участие будущий лауреат Нобелевской премии А.М. Прохоров.

Результаты проведенных работ² были использованы при разработке систем радионавигации и радиогеодезии, а также в других практических применениях методов радиоинтерферометрии. Так, В.В. Мигулиным был разработан дисперсионный радиоинтерферометр, с помощью которого удалось решить вопрос о береговой дифракции. Вплоть до настоящего времени метод дисперсионной интерферометрии применяют в исследованиях ионосферы с помощью космических аппаратов, в том числе в интенсивно развивающейся в последние годы ионосферной томографии.

Особое место в жизни В.В. Мигулина занимал МГУ, куда он в 1935 г. был приглашен Л.И. Мандельштамом. С тех пор и до конца своей жизни В.В. Мигулин практически не прерывал связей с физическим факультетом МГУ, пройдя путь от ассистента до заведующего кафедрой. До 1941 г. он был ассистентом, старшим преподавателем и доцентом кафедры колебаний. После начала Великой Отечественной войны В.В. Мигулин в составе спецлаборатории ИТГ АН был эвакуирован в Свердловск. По завершении работы оборонного характера в 1943 г. он был направлен в качестве старшего инженера в 4-й спецотдел НКВД СССР.

В 1943–1945 гг. В.В. Мигулин служил в Государственном Краснознаменном научно-исследовательском институте ВВС Красной Армии в должности начальника отделения. Здесь под его руководством изучались вопросы авиационной радиолокации. Практическим применением полученных результатов стало создание самолетного радиолокатора и других авиационных радиоустройств. За эти работы В.В. Мигулин был награжден орденом «Красная Звезда» и удостоен Сталинской премии III степени.

² Их описание приведено, например, в статье В.В. Мигулина и Я.Л. Альперта [18].

В 1946 г. после защиты в ФИАН докторской диссертации на тему «Интерференция радиоволн» он стал профессором и заведующим кафедрой радиолокации³. В диссертации и ряде публикаций 1937–1945 гг. [например, 19; 20] В.В. Мигулин изложил результаты проведенных исследований, ставших крупным вкладом в радиофизику.

В 1945 г. по запросу, инициированному И.В. Курчатовым, В.В. Мигулин был приглашен к Наркому боеприпасов Б.Л. Ванникову. Результатом беседы стала демобилизация В.В. Мигулина из армии и его перевод с 1946 г. на работу в лабораторию № 3 (Теплотехническую лабораторию АН СССР — будущий ИТЭФ). В то время ее заведующим был академик АН СССР А.И. Алиханов. Сотрудники данной лаборатории в рамках атомного проекта работали над созданием циклотрона. Заведуя сектором лаборатории № 3, В.В. Мигулин, помимо решения прикладных радиофизических задач, занимался проблемами ядерной физики.

Приобретенные знания, опыт руководителя и отличное знание немецкого языка позволили В.В. Мигулину в 1951 г. стать директором СФТИ⁴. В его стенах велись исследования по атомному проекту, в том числе связанные с созданием ракет. В СФТИ работали немецкие ученые, вывезенные из Германии после завершения Великой отечественной войны. Большинство из них заключили контракты и за приличное вознаграждение согласились работать в СССР. В СФТИ В.В. Мигулин отвечал за разработку новых устройств и технологии получения делящегося материала для ядерного оружия.

В 1953 г. под руководством В.В. Мигулина был запущен первый в Закавказье циклотрон, способный ускорять дейтроны и протоны до энергий 10–20 МэВ. Он использовался для исследования ядерных реакций и радиоактивных изотопов. В 1950-е гг. в СФТИ был создан первый советский масс-спектрограф с большой светосилой и

³ В 1956 г. В.В. Мигулин возглавил кафедру физики колебаний. Он оставался ее заведующим до 2001 г. На новой кафедре В.В. Мигулин создал и читал ряд новых специальных курсов: «Основы радиолокации», «Автоколебательные и параметрические системы», «Интерференционные методы исследования распространения радиоволн», проводил еженедельный научный семинар.

⁴ Этому назначению предшествовала беседа с Л.П. Берией. Ясно, что от предложения нельзя было отказаться.

предельно малыми ошибками ионно-оптического изображения, что позволило значительно повысить точность измерения масс атомных ядер. Это стало крупным научным достижением и способствовало дальнейшему развитию масс-спектрального анализа вещества в нашей стране.

В 1954 г. В.В. Мигулин возвратился в Москву. Вскоре он был назначен на должность заместителя декана физического факультета МГУ по научной работе. Одновременно он был заведующим отделением радиофизики, председателем Ученого совета отделения радиофизики. В 1956–1957 гг. В.В. Мигулин неоднократно выезжал с делегациями советских ученых на научные конференции в Швейцарию, Австрию и ГДР. В 1957–1959 гг. В.В. Мигулин стал заместителем генерального директора МАГАТЭ в Вене. Несмотря на постоянные переезды, длительные зарубежные командировки, составление отчетов, он находил время для продолжения научной работы на кафедре⁵.

В период с 1956 по 1962 гг. В.В. Мигулин опубликовал 7 печатных работ в ведущих научных журналах, монографию «Лекции по основам радиолокации» [21] и серию статей для Физического энциклопедического словаря. Отметим, что в 1978 г. был издан учебник «Основы теории колебаний» [22]. Его авторами стали В.В. Мигулин, Е.Р. Мустель, В.И. Медведев, В.Н. Парыгин. В учебнике рассматриваются общие свойства колебательных процессов, происходящих в радиотехнических, оптических и других системах, а также методы их изучения.

В.В. Мигулин продолжал руководить аспирантскими и хоздоговорными работами на кафедре физики колебаний МГУ. В то время они были посвящены использованию в импульсных схемах только что появившихся в СССР транзисторов. По инициативе В.В. Мигулина в 1954 г. на кафедре была создана группа «твердотельщиков» (К.Я. Сенаторов, Ю.М. Азьян, Л.Н. Капцов, Г.Н. Берестовский и Т.Н. Ястребцева). Результаты проведенных ими исследований были обобщены в монографии [23].

В 1962–1969 В.В. Мигулин был заведующим отделом параметрических приборов в ИРЭ (по совместительству). Тематика отдела была связана с созданием и исследованием высокочувствительных приемных устройств миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов волн на основе охлаждаемых до температуры жидкого

⁵ С присущим ему чувством юмора В.В. Мигулин любил говорить коллегам, что «есть физика экспериментальная, есть физика теоретическая, а он принужден заниматься “физикой дипломатической”» [12. С. 18].

гелия полупроводниковых элементов. В частности, были разработаны малошумящие параметрические усилители и приемники для миллиметровых и субмиллиметровых радиоволн с использованием детекторов на основе n-InSb с чувствительностью до 10^{-12} Вт/Гц^{1/2}. Эти приемники были удостоены Золотых медалей Лейпцигской ярмарки в 1966 г. и ВДНХ СССР в 1967 г. Их описание приведено в статье В.В. Мигулина и А.Н. Выставкина [24].

По-видимому, В.В. Мигулин был первым из ученых, кто привлек внимание научной общественности к использованию СКВИДов — квантовых интерференционных датчиков магнитного поля. Более того, первые СКВИДы в СССР были сконструированы под руководством В.В. Мигулина и его сотрудников (В.П. Кошелеца, Г.А. Овсянникова) в отделе параметрических приборов. По инициативе В.В. Мигулина в ИРЭ были начаты исследования нелинейных и параметрических СВЧ явлений в тонких сверхпроводящих пленках и слабосвязанных сверхпроводниках. Эти работы (например, [25]) в значительной степени способствовали созданию нового научного направления — сверхпроводниковой криоэлектроники. Фундаментальные результаты, полученные в этой области, позволили разработать высокочувствительные быстродействующие приемники гигагерцового и терагерцового диапазонов. Они успешно использовались для радиоастрономических наблюдений и в спектроскопических исследованиях.

В 1969 г. В.В. Мигулин стал директором ИЗМИРАН, которым руководил на протяжении 20 лет. При нем ИЗМИРАН стал ведущей исследовательской организацией страны в области исследования распространения радиоволн, ионосферы и магнитосферы Земли. Институт стал основным участником эксперимента «Зарница» и советско-французского эксперимента «Аракс» (1975 г.) по инъекции электронных пучков в ионосферу и магнитосферу Земли.

Под руководством В.В. Мигулина в ИЗМИРАН были развернуты теоретические и экспериментальные исследования нелинейных процессов, происходящих в ионосферной плазме под воздействием мощных радиоволн. При его непосредственной поддержке был создан подвижный диагностический комплекс по многочастотному доплеровскому зондированию возмущенной области ионосферы пробными волнами с высоким разрешением по частоте. Эксперименты, проведенные с его помощью, на мощном стенде «Сура» (НИРФИ), позволили обнаружить ряд новых эффектов, которые возникают в ионосфере под действием мощной радиоволны.

В.В. Мигулин был научным руководителем программы искусственного спутника Земли «Интеркосмос-19», запущенного в 1979 г. С его помощью был открыт ряд явлений, связанных с взаимодействием электромагнитного излучения и заряженных частиц. В частности, были открыты такие эффекты как ускорение электронов под действием излучения бортового радиопередатчика, возбуждение плазменных колебаний на характерных частотах. Кроме того, были получены новые данные о глобальном распределении электронной концентрации в ионосфере, ее вариациях во времени и ряд других интересных и важных закономерностей.

В.В. Мигулин также руководил работами по изучению влияния естественных и искусственных возмущений ионосферы на работу радиосистем, использующих дальней ионосферное распространение коротких радиоволн. Эти и другие исследования составили основу нового направления современной физики — солнечно-земной физики.

В.В. Мигулин участвовал в объединении усилий ученых МГУ, ИРЭ и ИЗМИРАН в изучении систем с джозефсоновскими контактами. Ими был обнаружен эффект одночастотной параметрической регенерации в колебательных системах с джозефсоновскими контактами и разработана его теория [26]. Результат этой работы был зарегистрирован как открытие в 1984 г. Его авторами являются В.В. Мигулин, Л.С. Кузьмин, К.К. Лихарев, А.Н. Выставкин и В.Н. Губанков.

В дальнейшем на кафедре физики колебаний МГУ была организована лаборатория криогенной электроники, которую возглавил К.К. Лихарев. Впоследствии он уехал в США и стал работать в университете Стони Брук (шт. Нью-Йорк, США).

В руководимой В.В. Мигулиным отраслевой лаборатории криогенной электроники на физическом факультете МГУ были разработаны элементы логики и памяти для ЭВМ нового поколения с использованием эффекта Джозефсона, теоретически обоснованы предельные шумовые характеристики приемников на основе джозефсоновских контактов. При участии В.В. Мигулина на основе высокотемпературного СКВИД постоянного тока был разработан и создан первый в Европе сканирующий СКВИД микроскоп (ССМ-77) (рис. 1),



Рис. 1. Сканирующий СКВИД-микроскоп

предназначенный для исследований магнитных полей рассеяния малоразмерных и слабо магнитных образцов при температуре кипения жидкого азота (77 К).

Результаты работ В.В. Мигулина были высоко оценены научной общественностью. В 1969–1996 гг. он был Председателем Советского (с 1991 г. — Российского) Национального комитета URSI, а в 1972–1978 гг. — вице-президентом Международного радиосоюза. В 1993 г. В.В. Мигулину, одному из первых в Московском университете, было присвоено почетное звание заслуженного профессора МГУ, а в 1999 г. он стал лауреатом Ломоносовской премии МГУ за педагогическую деятельность. В 2001 г. Правительство РФ, оценивая многолетний труд В.В. Мигулина, наградило его орденом «За заслуги перед Отечеством» IV степени.

Принадлежность к школе Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси ярко проявилась не только в научной, но и в педагогической деятельности В.В. Мигулина. «Эта школа и последующая многогранная трудовая деятельность сделали его блестящим лектором, тщательно готовящим каждую лекцию, каждое публичное выступление. Отточенные формулировки, стремление наиболее ярко и доходчиво представить основные характеристики разнообразных колебательных и волновых явлений — отличительные особенности В.В. Мигулина как педагога» [Цит. по: 27].

Один из создателей и руководителей Фрязинского филиала ИРЭ, специалист в области высокочастотной электродинамики, распространения радиоволн, радиофизических методов дистанционного зондирования Земли, планет Солнечной системы и межпланетной среды Н.А. Арманд вспоминал: «Как я сейчас понимаю, в лице В.В. мы познакомились с традициями великой школы физики Л.И. Мандельштама. Это чувствовалось во всем: в системе изложения материала, в методах анализа физических процессов, комментариев к деталям и т. п. Чувствовалось, что мы прикоснулись к процессу создания самой теории нелинейных колебаний, к процессу, в котором школе Л.И. Мандельштама принадлежит совсем не малая роль» [12. С. 57].

В.В. Мигулин известен и как автор историко-научных работ по отечественной радиофизике. В качестве примеров можно привести такие материалы как «Л.И. Мандельштам и становление советской физики» (1979 г.), «Н.Д. Папалекси (К столетию со дня рождения)» (1981 г.), «Столетие “волн Герца”» (1988 г.), «Истоки практической радиосвязи» (1993 г.) и др. В.В. Мигулин написал также ряд статей для третьего издания БСЭ (например, «Релаксационные колебания», «Радиофизика», «Электромагнитные

волны», «Интерференция радиоволн»).

Как автор, В.В. Мигулин был очень строг к определению научной новизны лично им полученных результатов. Множество работ, определивших развитие фундаментальных и прикладных направлений современной радиофизики и выполненных под его руководством, В.В. Мигулин не считал своими и не ставил свою фамилию в числе авторов. Эти работы можно найти в списках публикаций его учеников и коллег, а среди них — более 70 кандидатов наук, из которых более 40 ученых стали докторами наук. За долгую творческую жизнь В.В. Мигулин воспитал множество учеников (А.Н. Вахрамеев, Ю.Н. Пашин, Т.М. Ильинова, М.Д. Карасев, К.С. Ржевкин, К.К. Лихарев, И.В. Иванов и др.), успешно работающих в научно-исследовательских учреждениях России, стран СНГ и дальнего зарубежья.

В.В. Мигулин не мешал аспирантам, давал им возможность проявить инициативу, творческие способности и самостоятельность. На первый взгляд, может показаться, что создание и успешное функционирование научной школы В.В. Мигулина обусловлено, прежде всего, его выдающимися организаторскими способностями. Но, главным фактором является то, что В.В. Мигулин, по мнению его учеников, был не только научным руководителем, но и «нравственным руководителем, нравственным авторитетом и нравственным примером» [Там же. С. 63]. Подобные качества притягивали к нему учеников и сотрудников.

Резюмируя, отметим, что многогранная деятельность научной школы Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси привела к созданию кафедры физики колебаний МГУ. Она стала стартовой площадкой для формирования и укомплектования кадрами многих родственных кафедр физического факультета: волновых процессов, радиофизики СВЧ, акустики и др.

В разные годы студентами, аспирантами, сотрудниками кафедры физики колебаний МГУ были: С.М. Рытов, В.Г. Зубов, Л.М. Иманов, Р.В. Хохлов, В.Б. Брагинский, зав. кафедрой радиофизики СВЧ А.П. Сухоруков, заведующий кафедрой полупроводников В.С. Днепровский, заместитель заведующего кафедрой квантовой радиофизики В.И. Панов, заведующий лабораторией криоэлектроники О.В. Снигирев и др. В настоящее время на кафедре (руководитель — профессор, доктор физико-математических наук С.П. Вятчанин) ведутся научные исследования по следующим направлениям [28].

- Прецизионные и квантовые измерения.
- Динамические процессы в приборах и материалах фотоники и спинтроники.
- Колебательные системы с нелинейными диэлектриками.
- Акустооптика и оптическая обработка информации.
- Параметрические и автоколебательные системы с нелинейностями различного типа.
- Флуктуации в радиофизических системах.

Институт прикладной физики РАН.

Научные школы А.В. Гапонова-Грехова и М.А. Миллера

В главе 4 были рассмотрены научные школы А.А. Андропова и Г.С. Горелика. Результаты их деятельности заложили фундамент Нижегородской радиофизической школы. Ее историю и современное состояние невозможно представить без ИПФ. Его основателем и первым директором был Андрей Викторович Гапонов-Грехов (р. 1926)⁶. Кратко рассмотрим результаты его научной деятельности [29–31]. Родители А.В. Гапонова-Грехова — В.И. Гапонов и М.Т. Грехова — познакомились во время учебы в МГУ. В начале 1930-х гг. они переехали в Горький, где начали проводить радиофизические исследования. А.В. Гапонов-Грехов пошел по научным «стопам» родителей: после окончания школы он поступил на специальный факультет Горьковского индустриального института, а после окончания двух курсов — перевелся на радиофизический факультет ГГУ, который окончил в 1949 г.



А.В. Гапонов-Грехов

Первые научные работы А.В. Гапонова-Грехова были посвящены разработке теории электромагнитных излучателей в распределенных резонансных системах. Исследования велись им под руководством М.Л. Левина. Полученные А.В. Гапоновым-Греховым результаты впоследствии сыграли важную роль в исследованиях по электродинамике и СВЧ-электронике [32; 33].

⁶ С 2003 по 2015 гг. ИПФ возглавлял академик РАН А.Г. Литвак, а в 2015 г. директором института был избран академик РАН А.М. Сергеев (в настоящее время он является президентом РАН).

В 1949 г. А.В. Гапонов-Грехов поступил в аспирантуру к А.А. Андронову, предложившему ему для кандидатской диссертации тему по общей теории электромеханических систем (см. главу 4, а также [34]). В 1955 г. А.В. Гапонов-Грехов защитил диссертацию в ЛПИ. За важность проведенной работы ему была присуждена степень доктора физико-математических наук. В предисловии к диссертации А.В. Гапонов-Грехов написал: «Постоянное внимание и ценные советы, которыми я пользовался в течение трех лет работы под руководством Александра Александровича, имели и всегда будут иметь для меня огромное значение...» [Цит. по: 35].

Следующий этап научной биографии А.В. Гапонова-Грехова был связан с исследованиями по динамике волн в нелинейных средах и изучением колебаний в распределенных системах. Вместе со своими учениками он открыл и рассмотрел явление ударных электромагнитных волн [36]. Разрабатывая строгие и обосновывая асимптотические методы нелинейной динамики волн, А.В. Гапонова-Грехов внес основополагающий вклад в развитие нелинейной оптики, нелинейной акустики, изучение динамического хаоса и самоорганизации в сложных динамических системах. Лидирующие позиции в этих научных направлениях занимают сотрудники ИПФ.

К наиболее важным достижениям А.В. Гапонова-Грехова и его научной школы следует отнести:

- создание теории индуцированного излучения классических нелинейных осцилляторов;
- разработка принципа генерации и усиления электромагнитных волн потоками возбужденных неизохронных осцилляторов (принцип предложен в рамках этой теории);
- реализация этого принципа в электронных приборах — мазерах на циклотронном резонансе.

Проведенный цикл работ (1958–1961 гг.) является примером одновременного успешного развития теории, эксперимента и конструирования реальных приборов — в данном случае мощных генераторов и усилителей сантиметрового, миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов [37].

Эти устройства (гиротроны и гироклистроны) не имели аналогов по выходной мощности и КПД в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах. Их принцип действия основан на взаимодействии электромагнитных волн в сверхразмерных квазиоптических резонаторах или волноводах с потоком свободных электронов,

вращающихся в постоянном магнитном поле с циклотронной частотой.

Гиротроны используют как источник мощного электромагнитного излучения в установках для нагрева плазмы (токамаках и стеллараторах), в радиолокации, технологии вакуумного напыления. С помощью гиротронов были проведены экспериментальные исследования по высокотемпературной обработке и созданию новых материалов (нанокерамические материалы, синтетические алмазы, кристаллы для нелинейной оптики) [38].

Гироклистроны нашли применение в радиолокации высокого разрешения (например, в РЛС «Руза»). Отметим, что РЛС «Руза» стала первой отечественной станцией, работающей в миллиметровом диапазоне, для сопровождения баллистических целей и космических объектов.

В последующие годы в орбиту научных интересов А.В. Гапонова-Грехова и его учеников были вовлечены вопросы релятивистской электроники [39]. В этом направлении было получено множество ценных результатов, начиная от решения принципиальных проблем взаимодействия релятивистских электронных пучков с электромагнитными волнами, до создания новых типов генераторов и организации их промышленного выпуска. Достижения в области электроники больших мощностей создали эффективную базу для плазменных, плазмохимических исследований и разработки новых технологий, использующих возможности и преимущества нагрева сред мощным СВЧ-излучением.

Сотрудникам А.В. Гапонова-Грехова удалось создать новый класс мощных микроволновых релятивистских приборов, способных генерировать наносекундные импульсы гигаваттного уровня пиковой мощности. Они нашли применение в установках УТС, в радиолокации и некоторых технологических процессах.

Разработка новых принципов и электронных приборов на их основе принесли А.В. Гапонову-Грехову и его ученикам не только известность в научном мире, но и официальное признание, выразившееся в двух Государственных премиях СССР. Одна из них была присуждена за цикл работ «Теоретическое и экспериментальное исследование индуцированного циклотронного излучения» (1967 г.), а другая — за работу «Мощные гиротроны миллиметровых волн и энергетические комплексы для термоядерных исследований» (1983 г.).

В 2003 г. А.В. Гапонов-Грехов в составе коллектива ученых был удостоен

Государственной премии РФ за исследование стимулированного излучения сильноточных релятивистских электронных пучков и создание сверхмощных вакуумных микроволновых генераторов.

В 1976 г. в составе отделения Общей физики и астрономии АН СССР был создан, а с 1977 г. начал функционировать ИПФ⁷ [40]. В институте были образованы четыре отделения: электроники больших мощностей и физики плазмы; гидрофизики и гидроакустики; лазерной физики и нелинейной оптики; физики твердого тела⁸.

Тематика научных исследований ИПФ охватывает такие направления, как гидрофизика и гидроакустика, физика плазмы и электроника больших мощностей, квантовая электроника и нелинейная оптика, физика миллиметровых и субмиллиметровых волн, радиофизические методы в медицине. При этом во всех работах ИПФ четко просматривается единая тематическая линия — динамика нелинейных колебательных и волновых процессов в системах и средах различной физической природы.

Фактически, это направление исследований является логическим продолжением фундаментальных работ в области теории нелинейных колебаний, выполненных научными школами Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси, А.А. Андропова, Г.С. Горелика. Этот вывод можно сделать исходя из исследовательской программы, которую сформулировал сам А.В. Гапонов-Грехов. «За рубежом к радиофизике обычно относят исследование антенн и распространение радиоволн. А объединяющим началом различных направлений в работе нашего института является их генетическая и функциональная связь с фундаментальной радиофизикой как общей наукой о

⁷ На вопрос о том, как появилась идея создания нового института, А.В. Гапонов-Грехов дал следующий ответ. «Наверное, все началось с создания Нижегородской школы радиофизики, когда сюда переехали родители и мой будущий учитель Александр Александрович Андронов, у которого жена была сестрой выдающегося ученого Михаила Александровича Леонтовича. Вся эта команда пошла преподавать в университет, и работать в институте при нем. У них было свое отношение к науке, на основе которого родились научные школы, были созданы новые факультеты и институты. Вот из такого отношения к науке постепенно родилась идея создания нашего института» [Цит. по: 41].

⁸ В 1993 г. на основе этого отделения был организован Институт физики микроструктур РАН. Его директором до 2009 г. был академик РАН С.В. Гапонов-Грехов — брат А.В. Гапонова-Грехова.

колебаниях и волнах — о возбуждении колебаний и волн, их канализации, излучении, распространении, а также о регистрации, приеме и обработке колебательных и волновых сигналов и электромагнитной и неэлектромагнитной природы» [Цит. по: 42]. Данная исследовательская программа и была положена в основу деятельности ИПФ.

Талант ученого-радиофизика и выдающиеся организаторские способности проявились в работе А.В. Гапонова-Грехова в Научном совете по комплексной проблеме «Гидрофизика» при Президиуме АН СССР. Успешно руководя сначала акустической секцией Совета, он стал впоследствии первым заместителем председателя Совета (в то время им был академик АН СССР А.П. Александров), а затем и сам возглавил этот Совет (рис. 2).



Рис. 2. А.В. Гапонов-Грехов и А.П. Александров

А.В. Гапонову-Грехову удалось не только определить круг приоритетных задач Совета, но в ряде случаев указать и наиболее эффективные пути их решения. Он смог объединить усилия крупных ученых разных специальностей, конструкторов и инженеров промышленности и специалистов ВМФ. В фокусе их внимания находились физические задачи, связанные со стратегическими проблемами атомного подводного флота. Исследования, выполненные в ИПФ под руководством и при участии А.В. Гапонова-Грехова, внесли существенный вклад в развитие низкочастотной акустики океана, корабельной акустики, радиофизических методов диагностики морской поверхности.

Вся жизнь А.В. Гапонова-Грехова представляет собой ярко выраженный симбиоз научной и педагогической деятельности. Кроме «прямых» учеников (В.И. Беспалов, Л.А. Островский, А.М. Белянцев, Е.И. Якубович, Г.И. Фрейдман, И.И. Антаков и др.), у которых он был руководителем диссертационных работ, десятки ведущих сотрудников ИПФ считают А.В. Гапонова-Грехова своим руководителем и наставником.

На посту директора ИПФ А.В. Гапонов-Грехов уделял значительное внимание реализации схемы «сквозного» образования — от средней школы-лицея физико-математического профиля до аспирантуры⁹. Стержнем этой системы является ВШОПФ,

⁹ В этой связи приведем фрагмент из интервью А.В. Гапонова-Грехова. «У нас есть свой физматлицей, свой факультет в университете, в народе шутят, что надо открывать физико-математический детский сад... Настоящая научная работа должна заключаться не только в

имеющая статус факультета ННГУ и подразделения ИПФ. В 2001 г. при поддержке Президиума РАН начал действовать Научный образовательный центр. В него входят старшие классы физико-математического лицея, ВШОПФ и группы радиофизического факультета ННГУ. Со студентами занимаются десятки докторов и кандидатов наук, три академика РАН.

А.В. Гапонов-Грехов известен также как руководитель Горьковских школ по нелинейным волнам, которые регулярно проходили в период с 1972 по 1989 гг. В них принимали участие ведущие отечественные специалисты и молодых ученые, только начинающие работать в этой междисциплинарной области. В 2000-е гг. регулярное проведение таких школ было возобновлено, и в 2016 г. прошла уже 17-я школа «Нелинейные волны». Для многих участников, среди которых традиционно много аспирантов и даже студентов (и далеко не только из Н. Новгорода), эти мероприятия стали действительно школами по формированию «нелинейного мышления» и приобретению знаний, получаемых «из первых рук».

Приведем ряд характеристик А.В. Гапонова-Грехова как ученого, руководителя и Человека с большой буквы. По словам академика РАН В.Е. Фортובה, «академика А.В. Гапонова-Грехова характеризует очень высокий научный и моральный уровень. Я убежден, что Андрей Викторович — ученый нобелевского уровня, настолько много он сделал ярких, пионерских выдающихся работ. Недавно я прочитал одну из его ранних работ по электромагнитным ударным волнам и поразила ее красота, изящество, элегантности... Андрей Викторович обладает очень высокой научной культурой и редкими человеческими качествами. Это человек чести. Он работает во многих научных сферах и везде успешно» [42. С. 9].

Академик РАН А.Г. Литвак отмечал, что «Андрей Викторович всегда был яркой, харизматичной личностью. Производили впечатление широта его научного кругозора, прекрасные аналитические способности, завидная общая культура, умение представить материал научному и вненаучному сообществу» [Там же. С. 11].

обучении знаниям или даже умениям, но прежде всего в организации системы науки.... Наука — это коллективное занятие. И если нет научного коллектива, ничего не получится. Конечно, человек может и в одиночку достичь выдающихся результатов, но для того чтобы претворить их в жизнь, необходим правильно организованный коллектив единомышленников. У нас в институте это есть» [Цит. по: 41].

Перейдем теперь к обсуждению научной школы М.А. Миллера. Михаил Адольфович Миллер (1924–2004) был одним из ярких представителей Нижегородской радиофизической школы [43–45]. К середине 1960-х гг. вокруг него в НИРФИ сложилась научная школа в области радиофизики и физики плазмы. В 1945–1949 гг. М.А. Миллер обучался на радиофизическом факультете ГГУ. Его научным руководителем, а вскоре и близким другом стал М.Л. Левин (ученик М.А. Леонтовича).



М.А. Миллер

Тема научных исследований М.Л. Левина — электродинамика антенн и линий передачи — определила на несколько лет сферу научных интересов М.А. Миллера. После окончания университета в 1949 г. он проработал два года инженером на радиотехнических предприятиях г. Горького, а в 1950 г. — поступил в аспирантуру Горьковского университета к М.Т. Греховой. Одновременно М.А. Миллер работал в ГИФТИ, где в 1953 г. стал заведующим лабораторией. В 1953 г. он защитил кандидатскую, а в 1960 г. — докторскую диссертации. С 1956 по 1977 гг. М.А. Миллер был заведующим отделом электродинамики НИРФИ, а с 1977 по 2004 гг. — заведующим отделом физики плазмы и главным научным сотрудником ИПФ.

В 1950-е гг. М.А. Миллером был выполнен цикл работ, посвященный импедансному описанию электродинамических систем СВЧ диапазона. В частности, к ним относится разработка теории поверхностных волн в замедляющих структурах¹⁰ и рассмотрение импедансных антенн с частотным качанием луча. В отделе электродинамики НИРФИ под руководством М.А. Миллера были развернуты исследования в области физики взаимодействия излучения с плазмой [47]. Он предложил концепцию усредненной пондеромоторной силы, которую в научной литературе часто называют силой Миллера [48]. Эта нелинейная сила действует на заряженные частицы в неоднородных высокочастотных полях. Она играет ключевую роль в установках термоядерных реакторов, лазерно-плазменных ускорителях заряженных частиц и процессах генерации излучений различных диапазонов. Сила Миллера была впервые описана в статье А.В. Гапонова-Грехова и М.А. Миллера [32]. Впоследствии связанные с ней теоретические и прикладные аспекты были подробно проанализированы в серии работ научной школы М.А. Миллера. Ее сотрудниками

¹⁰ Результаты этой работы представлены в статье М.А. Миллера и В.И. Таланова [46].

проводились исследования взаимодействия электромагнитных полей с макроскопическими плазменными и плазмоподобными объектами.

Научной школе М.А. Миллера принадлежит основополагающий вклад в развитие ряда фундаментальных направлений современной линейной и нелинейной электродинамики плазмы. Среди них следует отметить:

- теорию самофокусировки волновых пучков и пакетов в плазме и других средах при различных механизмах нелинейности;
- изучение резонансного поглощения и скачков плотности, формирующихся в плавно неоднородной плазме под воздействием сильных полей;
- исследования по плазменной турбулентности, электродинамике свободно локализованных микроволновых и оптических разрядов в газах;
- развитие теории дифракции и излучения волн в плазме.

Исследования в этих областях были продолжены М.А. Миллером и его учениками в ИПФ. За работы в области нелинейных волновых процессов в плазме М.А. Миллер и его ученики были удостоены Государственной премии СССР 1987 г.

Важно отметить преподавательскую деятельность М.А. Миллера. Она была неразрывно связана с радиофизическим факультетом ННГУ. Руководя отделами НИИ, М.А. Миллер по совместительству выполнял обязанности заведующего кафедрой электродинамики радиофизического факультета. Созданные и неоднократно читавшиеся им в 1950–1960-е гг. на радиофизическом факультете общефакультетские курсы классической и прикладной электродинамики в значительной степени определили развитие «электродинамической» культуры в Нижегородской радиофизической школе.

Лекции М.А. Миллера представляли собой уникальное явление в системе вузовского физического образования¹¹. Они отличались богатством научного содержания, сочетаемого с ясностью и доступностью изложения. Лекции посещали не только студенты, аспиранты, преподаватели естественно-научных (в том числе, радиофизического) факультетов ННГУ, но и преподаватели из других вузов.

Как отмечал В.Л. Братман, «лекции МА были действительно великолепны: фейерверк эрудиции, физической глубины, остроумия. Но не менее хороши были и лирические отступления, которые очень расширяли наше мировоззрение и воспитывали

¹¹ Некоторые из них вошли в сборник М.А. Миллера «Лекции по физике... и не только» (2014 г.).

вкус» [49. С. 154–155].

Написанный и изданный при участии М.А. Миллера «Сборник задач по электродинамике» (2001 г.) [50] был рекомендован в качестве учебного пособия для университетов России. Эталоном взаимодействия ученого с молодыми исследователями может считаться работа М.А. Миллера в рамках института стажеров-исследователей ИПФ, которыми он руководил с 1978 по 1992 гг.

Много времени и энергии М.А. Миллер отдал переводческой деятельности и работе по написанию статей для энциклопедий. Он был редактором и соавтором переводов на русский язык известного учебника В. Смайта «Электростатика и электродинамика» (1954 г.), а также знаменитого труда Дж.К. Максвелла «Трактат по электричеству и магнетизму». Кроме того, М.А. Миллером было написано и отредактировано несколько десятков статей для Физического энциклопедического словаря и Физической энциклопедии.

В последние годы жизни он с интересом занимался историей науки, особенно той ее части, участником и творцом которой был он сам. М.А. Миллером был опубликован ряд статей и очерков, содержащих размышления о научном творчестве и воспоминания личного характера о формировании Нижегородской радиофизической школы. Особое место в этой серии занимают: книга о М.Л. Левине [51], выдерживая два издания (составители М.А. Миллер и Н.М. Леонтович), материал «Избранные очерки о зарождении и взрослении радиофизики в горьковско-нижегородских местах» [52], книга «Мария Тихоновна Грехова. К 100-летию со дня рождения» [53] и др.

Уже после его смерти вышла книга М.А. Миллера «Всякая и не всякая всячина, посвященная собственному 80-летию» (2005 г.) [54]. В ней приведены результаты его исследований по истории науки, статьи, приуроченные к юбилейным датам ученых и научных организаций, размышления на философские и околонучные темы, литературные пародии и юмористические стихи. Кроме того, в 2015 г. была опубликована книга «"Из спектров чувств и сгустков дум...": жизнь, воспоминания, творчество», в которой собраны материалы о жизни и научной деятельности М.А. Миллера [49].

Коллеги М.А. Миллера отмечали следующие особенности его личности: «широта и разнообразие интересов, раскрепощенность и ясность физического мышления, образная и остроумная манера речи и письма, сочетаемые с умением зажечь энтузиазм

молодых исследователей, направив их внимание на ключевые моменты исследуемых явлений» [Цит. по: 45].

М.А. Миллер был центром притяжения на всех семинарах¹² и конференциях, в которых принимал участие. К нему обращалось огромное количество людей с научными, околонучными и просто житейскими проблемами. Среди его учеников два академика РАН (В.И. Таланов и А.Г. Литвак), 7 докторов наук, более 20 кандидатов наук, лауреаты Ленинской и государственных премий, ведущие специалисты в области радиофизики, работающие в научных центрах в России и за рубежом.

В заключение обсудим некоторые направления исследований ИПФ. В институте было создано отделение, в котором разрабатывались принципы и методы дальнего гидроакустического и аэрокосмического обнаружения подводных объектов. Созданные сотрудниками ИПФ гидроакустические излучатели до сих пор являются непревзойденными по своим характеристикам. Они успешно использовались в различных натуральных экспериментах. Например, с помощью таких излучателей были реализованы российско-американские проекты «TAP» и «ACOUS» по распространению низкочастотных (в диапазоне ~ 20 Гц) сигналов на стационарных трансарктических трассах. Проведенные акустические эксперименты стали важным шагом на пути реализации идеи глобальной термометрии океанического климата средствами низкочастотной акустики.

Совместно с американскими исследователями ученые из ИПФ разрабатывали программу АТОК. Специально разработанный в ИПФ источник низкочастотных (20 Гц) звуковых волн был установлен в районе Шпицбергена, а их прием осуществлялся в

¹² Приведем ряд характеристик научной школы, которые привел сам М.А. Миллер [43].

- Все встречи «школьников» происходили на двухчасовых семинарах примерно раз в две недели с перерывами на каникулы или на непредвиденные обстоятельства.
- Семинары, как правило, состояли из выступления одного из «школьников» по его инициативе, а также из моей информации о научных новостях. Изредка приглашались докладчики со стороны.
- Научные новости извлекались в основном из нескольких резюмирующих сайтов Интернета, а также из периодической прессы. При этом не делалось никаких тематических ограничений. Почти всегда я первоначально опирался на первую десятку новостей, публикуемых на специальном научном сайте.

районе Аляски. По изменениям скорости звука прослеживались изменения температуры океана в его средних слоях. Эти работы важны с точки зрения контроля за изменением климата.

Отдельного внимания заслуживает созданный в ИПФ петаваттный (10^{15} Вт) лазерный комплекс «PEARL» [55], входящий в пятерку самых мощных действующих лазеров мира. Он был реализован в научно-исследовательской группе под руководством члена-корреспондента РАН Е.А. Хазанова. Мощность лазера равна половине петаватта, что в 30 раз превышает мощность всей электроэнергетики на Земле. Однако генерируемый лазерный импульс очень короткий — всего 45 фс (фемтосекунд — миллиардных долей микросекунды), что составляет около 30 периодов колебаний светового поля. В связи с этим, энергия в импульсе мала — всего 25 Дж.

По словам А.Г. Литвака, «... если сфокусировать это излучение и поместить в область фокуса электрон, то энергия колебаний электрона в световом поле на два-три порядка превысит релятивистскую энергию покоя, и для описания этих колебаний потребуется специальная теория относительности» [56]. А.М. Сергеев отмечает, что, «имея такой лазер, мы можем вскипятить вакуум и получить электрон-позитронную плазму» [Там же].

Петаваттный фемтосекундный лазерный комплекс «PEARL» способен генерировать поля с интенсивностями более 10^{19} Вт/см², образующиеся при фокусировке лазерных импульсов. Эти поля существенно превосходят уровень внутриатомных полей, что позволяет создавать состояния вещества с экстремальными свойствами. Кроме того, данная установка рассматривается и как инструмент для моделирования процессов, протекающих в ядерных и термоядерных реакциях.

В ближайшее время в ИПФ будут интенсивно развиваться такие научные дисциплины, как геофизическая электродинамика и биофотоника. Геофизическая электродинамика и атмосферное электричество связаны с изучением различных электрических процессов в глубинах Земли, атмосфере, ионосфере и т. д. Диагностика и описание многих процессов в этих системах пока не ясны.

Другое чрезвычайно перспективное направление — биофотоника, сформировавшееся на стыке таких наук, как лазерная физика, биология, медицина. В частности, биофотоника исследует вопросы управления биологическими процессами на квантовом уровне, а также возможности создания на этой основе инновационных

способов биомедицинской диагностики и лечения.

ИПФ принимает участие в нескольких международных проектах, самыми значимыми из которых являются: «ITER» (проект по созданию управляемого термоядерного реактора на основе магнитного удержания плазмы); «LIGO» (проект по разработке лазерного интерферометра с целью обнаружения гравитационных волн); создание прототипа реактора для лазерного термоядерного синтеза «HiPER» и др.

В настоящее время на базе ИПФ идет строительство Международного центра экстремальных световых полей, в рамках которого будет разработан фемтосекундный лазер с эксаваттным уровнем мощности (10^{18} Вт).

Помимо вышеперечисленных направлений в ИПФ дальнейшее развитие получат электроника больших мощностей, электродинамика плазмы, динамика нелинейных процессов, радиофизические методы диагностики, низкочастотная акустика океана, лазерная физика и нелинейная оптика. Их выполнение возможно только за счет мощной экспериментальной базы, созданной в ИПФ и позволяющей проводить как лабораторные, так и натурные эксперименты. В качестве примера можно привести большой термостратифицированный опытовый бассейн, не имеющий зарубежных и отечественных аналогов. Он предназначен для масштабного физического моделирования волновых процессов в верхнем слое океана и приповерхностном слое «океан — атмосфера». Бассейн оборудован ветроволновым каналом для моделирования в широком диапазоне скоростей ветра, вплоть до ураганных. Исследования, проводимые в бассейне, имеют большое значение не только с фундаментальной точки зрения, но и для развития методов дистанционной диагностики океана и разработки перспективных технических средств диагностики.

Реализация амбициозных научных проектов в ИПФ была бы невозможной без создания конгломерата малых наукоемких предприятий. Их задача состоит в доведении результатов научных исследований ИПФ до действующих образцов и прототипов, анализ рынка и коммерческая реализация продукции. В качестве примера такого предприятия можно привести фирму «ГИКОМ». Основное направление ее деятельности связано с разработкой различных приборов мощной СВЧ-электроники и вспомогательного оборудования, необходимого для их функционирования.

Гиротроны, выпускаемые этой фирмой, работают во многих российских лабораториях и на крупномасштабных термоядерных установках в научных центрах

США, Германии, Японии, Китая, Италии, Швейцарии и других стран. Консорциум ИПФ и «ГИКОМ» является одним из производителей гиротронов для термоядерной установки ИТЕР. Отметим, что при непосредственной поддержке ИПФ были созданы и другие малые инновационные компании, которые занимаются коммерциализацией научных достижений нижегородских ученых: «Медуза» (разработки в области ультразвуковой техники), «Гран» (исследования по гидроакустике), «Биомедтех» (выпуск медицинских приборов для оптической томографии).

Харьковская радиофизическая школа

Как отмечалось в главе 5, по инициативе Д.А. Рожанского в Харьковском университете были начаты исследования по освоению методов генерации дециметровых и сантиметровых волн. Он активно поддерживал радиофизические исследования в Харьковском университете¹³, а затем и в УФТИ. При этом Д.А. Рожанский установил тесную связь со своими харьковскими учениками. В этом контексте уместно привести слова известного радиофизика и радиоастронома С.Я. Брауде. «С особым вниманием и педагогическим тактом Рожанский относился к творческой инициативе молодых сотрудников и способствовал становлению многих ученых. И не случайно, что именно два его ученика — Слуцкий в Харькове и Кобзарев в Ленинграде — стали руководителями работ по созданию первых советских радиолокаторов» [57].

С 1921 г. исследования по радиофизике в Харьковском университете возглавил ученик Д.А. Рожанского Абрам Александрович Слуцкий (1891–1950). В 1926 г. на кафедре физики этого университета был сформирован сектор электромагнитных колебаний [58; 59], где под руководством А.А. Слуцкого проводились работы по получению коротких электромагнитных волн с помощью пучков электронов, движущихся в скрещенных электрических и магнитных полях [60].



А.А. Слуцкий

В 1928 г. он стал заведующим кафедрой физики, а в 1933 г. — организовал кафедру электромагнитных колебаний со специализацией «радиофизика». А.А. Слуцкий

¹³ С 2000 г. — Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина.

и его сотрудники продолжили изучение электромагнитных колебаний, получаемых с помощью катодных ламп. В частности, было предложено заменить сетку внешним магнитным полем. В результате исследований был создан магнетрон с длиной волны $\lambda = 7$ см. А.А. Слуцкиным и Д.С. Штейнбергом были разработаны магнетронные методы генерирования радиоволн, позволившие впервые получить электромагнитные колебания с длинами волн $\lambda = 56\text{--}170$ см. Кроме того, был изучен режим циклотронных колебаний, при котором частота генерируемых колебаний определяется только магнитным полем и анодным напряжением.

Достижения научной школы А.А. Слуцкого были высоко оценены научным сообществом. Л.И. Мандельштам писал: «А.А. Слуцкий — один из лучших наших специалистов в области дециметровых волн. Его исследования относятся главным образом к разработке одного из весьма эффективных методов получения этих волн и изучению физических процессов при этом происходящих. Речь идет о генерации колебаний при помощи магнетрона. Нужно отметить, что А.А. Слуцкий является одним из пионеров этого метода вообще» [61. Л. 1].

Наличие в Харьковском университете сильной кафедры физики сыграло важную роль в решении открыть новый научно-исследовательский институт — УФТИ¹⁴. Идея его организации возникла у А.Ф. Иоффе. В 1928 г. он обратился к председателю коллегии научно-технического управления ВСНХ СССР. Приведем фрагмент из письма А.Ф. Иоффе. «По поводу организации в Харькове филиала ЛФТИ имею сообщить следующее. Там имеется сильная группа физиков, работающая в направлении технических применений этой науки. ЛФТИ имеет связь с этой группой через одного из главных наших сотрудников — Д.А. Рожанского, бывшего ранее профессором в Харькове. Он два раза в год бывает там, консультируя и, частично, руководя работой харьковских физиков» [Цит. по: 62].

Сам Д.А. Рожанский стал активным сторонником идеи открытия УФТИ. В этом институте, руководимом И.В. Обреимовым, работали ученики Д.А. Рожанского — А.В. Желеховский, А.А. Слуцкий, Д.С. Штейнберг. В качестве консультантов института были приглашены такие выдающиеся специалисты, как П.Л. Капица, Д.А. Рожанский, Г.А. Гамов, П.С. Эренфест. Кроме того, в Харьков был направлен мощный научный «десант» физиков из ЛФТИ, в частности А.И. Лейпунский, Д.Д. Иваненко, П.И.

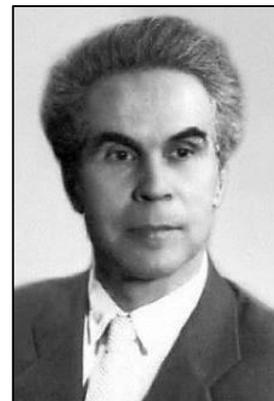
¹⁴ С 2004 г. — Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт.

Стрельников, Г.Д. Латышев, В.С. Горский, М.А. Корец и др. Позже к ним присоединились Л.Д. Ландау¹⁵, Л.В. Шубников, А.К. Вальтер, К.Д. Синельников.

Именно Д.А. Рожанский позаботился о том, чтобы А.А. Слуцкий, сохранив рабочее место в Харьковском университете, возглавил в УФТИ ЛЭМК¹⁶. Эта лаборатория была организована в 1930 г. Наряду с А.А. Слуцким в ЛЭМК работали П.П. Леляков, С.Я. Брауде, А.Я. Усиков, И.Е. Островский, Е.А. Капилович, И.Д. Трутень, И.М. Вигдорчик, Н.П. Вышинский и др. При участии А.А. Слуцкого в лаборатории проводились теоретические и экспериментальные исследования по генерации электромагнитных колебаний дециметрового и сантиметрового диапазонов.

В 1937 г. ЛЭМК было поручено создать радиолокатор для обнаружения воздушных целей. Параллельно решением этой задачи занимались и другие научные коллективы, в том числе группа Ю.Б. Кобзарева (см. главу 5). В то время один из учеников А.А. Слуцкого А.Я. Усиков разрабатывал магнетроны дециметрового диапазона с многосегментным анодом. Они были способны генерировать рекордные (на тот момент) мощности — от 30 до 100 Вт в непрерывном режиме.

Работая над созданием магнетронов с управляемыми выходными характеристиками, А.Я. Усиковым были заложены теоретические основы для конструирования магнетронов импульсного действия. Импульсный режим работы магнетрона открывал новые возможности для разработки средств обнаружения летящих объектов. Именно поэтому руководство работами по созданию генераторной части радиолокатора было возложено на Александра Яковлевича Усикова (1904–1995).



А.Я. Усиков

С.Я. Брауде, участвовавший в разработке первых в мире мощных многорезонансных магнетронов СВЧ-колебаний, писал: «Роль Александра Яковлевича Усикова в создании радиолокатора трудно переоценить. Наряду с магнетронными

¹⁵ Именно в Харькове начала формироваться всемирно известная научная школа Л.Д. Ландау в области теоретической физики. По воспоминаниям академика РАН А.А. Абрикосова, «благодаря Л.Д. Ландау и ряду других ученых Харьков стал крупнейшим центром физики вообще и в особенности теоретической физики» [Цит. по: 57].

¹⁶ Сотрудниками этой лаборатории становились студенты, которые сначала проходили обучение на кафедре электромагнитных колебаний, а затем практику в ЛЭМК.

исследованиями и руководством разработкой передающей части радиолокатора, он взял на себя основную тяжесть организационной работы. Будучи человеком высоких нравственных устоев, внимательный и чуткий к собеседнику, но в то же время всегда имеющий твердую позицию по принципиальным вопросам, А.Я. Усиков оказывал благоприятное влияние на творческую атмосферу в коллективе» [Цит. по 57].

К 1938 г. был создан опытный экземпляр импульсного радиолокатора «Зенит» [63]. Он состоял из следующих узлов: магнетронного генератора (разработчики — А.Я. Усиков, П.П. Леляков, И.М. Вигдорчик), приемника электромагнитных колебаний (разработчики — С.Я. Брауде, Е.А. Капилович, А.П. Майданов, И.Д. Трутень) и системы параболических антенн (разработчик — сотрудник КБ УФТИ И.А. Травянкин).

Радиолокатор «Зенит» представлял собой двухзеркальную установку, в которой параболические 3-метровые зеркала генератора и приемника были разнесены на расстоянии около 50 м друг от друга. Движение обоих зеркал в азимутальной и вертикальной плоскостях осуществлялось синхронно, что обеспечивало параллельность осей диаграмм направленности обоих зеркал. С помощью радиолокатора удавалось обнаруживать летящий самолет на расстоянии до 70 км с точностью по наклонной дальности ± 100 м и по угловым координатам $0,5-0,7^\circ$.

В 1938 г. были проведены первые испытания радиолокатора «Зенит». Генерал-лейтенант инженерно-технической службы М.М. Лобанов отметил ряд преимуществ этой РЛС перед существующими радиолокаторами, созданными в разное время в ЦРЛ, НИИ-9, ЛФТИ. Разработанная установка была наиболее коротковолновой и позволяла определять три координаты — дальность, азимут и угол места. Во время Великой Отечественной войны харьковский трехкоординатный импульсный радиолокатор успешно использовался в системе ПВО Москвы¹⁷.

Возникает закономерный вопрос, почему радиолокатор «Зенит» не был запущен в серийное производство, как например, РЛС РУС-2 Ю.Б. Кобзарева (с ее помощью можно было определять только две координаты цели)? За ответом обратимся к воспоминаниям С.Я. Брауде. «Во-первых, мы начали работать по воздушным целям по

¹⁷ В 1940 г. радиолокатор «Зенит», доработанный с учетом результатов испытаний, был принят правительственной комиссией. Одноантенный вариант радиолокатора «Рубин» был разработан коллективом ЛЭМК уже в эвакуации (в Бухаре). Он использовался для обнаружения самолетов и кораблей противника на северном участке советско-германского фронта.

существо только под Москвой, т. е. на год позже, чем Кобзарев. Во-вторых, для Москвы мы оставались провинцией со всеми вытекающими последствиями. В-третьих, Кобзарев был все-таки ближе, чем мы, к тем кругам, которые в таких вопросах многое определяли и решали. У них было более мощное начальство. Кобзарева все знали, Слуцкина знали плохо. Поэтому наш вариант не прошел» [Цит. по: 57].

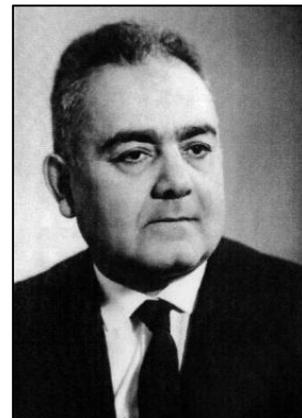
К сожалению, волна репрессий 1937–1938 гг. коснулась, в том числе, и сотрудников УФТИ [64]. Многие ведущие ученые этого института были арестованы (например, И.В. Обреимов, А.И. Лейпунский), некоторые специалисты расстреляны (Л.В. Шубников, В.С. Горский, Л.В. Розенкевич), а большинство научных исследований свернуто. Несмотря на это, ЛЭМК успешно выполнила работы по разработке импульсного радиолокатора. При этом никто из ее сотрудников не был арестован. С.Я. Брауде вспоминал. «В лаборатории сложилась активная творческая обстановка и, несмотря на острые дискуссии, в которые часто переходило обсуждение той или иной научной проблемы, взаимоотношения между сотрудниками всегда оставались доброжелательными. К счастью, репрессии не затронули сотрудников лаборатории, но общий климат в институте, характерный для того времени, не способствовал их нормальной работе» [Цит. по: 57].

Развитие магнетронной тематики и создание импульсной радиолокационной установки в 1930–1940-е гг. в УФТИ имели огромное значение для развития радиофизики на Украине. Эти разработки по идейному замыслу, масштабу проблемы, сложности, разнообразию задач и срокам осуществления для своего времени были уникальными и соответствовали тенденциям развития радиофизики и электроники. Используя полученный опыт, А.Я. Усиков в 1944–1945 гг. сконструировал прибор радиолокационного действия для дистанционного определения места и характера повреждения в высоковольтных линиях электропередач, а в 1946 г. — для диагностики подземных силовых кабелей. Эти приборы широко использовались при восстановлении электрических сетей, разрушенных во время войны, в Харькове, других городах СССР и в районах Заполярья.

В послевоенные годы под руководством А.А. Слуцкина были разработаны многорезонаторные магнетроны сантиметрового и миллиметрового диапазонов, а также проведены исследования распространения и поглощения СВЧ-колебаний в различных средах. К важнейшим достижениям его научной школы можно отнести создание

магнетронов дециметровых волн с мощностью в десятки ватт в непрерывном и десятки киловатт в импульсном режимах. Эти устройства нашли применение в системах радиосвязи и радиолокации.

Развитием радиолокационной тематики стали исследования по распространению радиоволн, проведенные учеником А.А. Слущкина Семеном Яковлевичем Брауде (1911–2003). В 1947 г. по его инициативе в УФТИ был организован отдел, в котором начало развиваться новое научное направление — теоретическое и экспериментальное изучение распространения электромагнитных волн над поверхностью Земли [65].



С.Я. Брауде

Использование радиотехнических систем, разработанных в ходе Второй мировой войны и послевоенный период, в навигации, связи, локации и для других прикладных задач, сдерживалось недостаточным знанием законов распространения радиоволн в реальных условиях. Для решения этой задачи коллектив С.Я. Брауде участвовала в ряде НИР: «Теоретическое и экспериментальное исследование распространения радиоволн над морской поверхностью и возможность обнаружения надводных целей за пределами геометрической видимости» («Лилия», 1950 г.) и «Исследование возможности создания береговой радиолокационной станции на промежуточных волнах для обнаружения и определения координат кораблей, скрытых кривизной земли» («Черемуха», 1953 г.). В их рамках были выполнены пионерские работы по распространению гекаметровых и декаметровых волн над морской поверхностью, созданию систем загоризонтной радиолокации. За цикл проведенных работ С.Я. Брауде, И.Е. Островскому, Ф.С. Санину, И.С. Тургеневу и Я.Л. Шамфарову была присуждена Сталинская премия (1952 г.).

В ходе экспедиций были проведены детальные исследования распространения радиоволн над морской поверхностью в широком диапазоне длин волн (от сантиметров до сотен метров) и на трассах различной протяженности (в области прямой видимости, в зонах полутени и тени). При этом были измерены напряженности поля сантиметровых радиоволн, распространяющихся над морем, при различных высотах антенн и метеоусловиях, экспериментально обнаружено аномально малое затухание радиоволн СВЧ-диапазона в области глубокой тени. Это явление получило название дальнего тропосферного распространения.

Наряду с распространением радиоволн в стандартных метеорологических условиях, С.Я. Брауде и его сотрудники экспериментально изучили и разработали методику прогнозирования очень важного (особенно в морских условиях) явления — так называемого атмосферного волновогода.

Установленные С.Я. Брауде и его учениками закономерности взаимосвязи характеристик рассеянного электромагнитного поля со свойствами морской поверхности [66] позволили разработать неконтактный метод определения параметров морского волнения на дальних расстояниях. Отметим, что в работах научной школы С.Я. Брауде были заложены основы радиоокеанографии — новой научной дисциплины, возникшей на стыке радиофизики и океанографии. Проведенные исследования были высоко оценены как радиофизиками, так и океанографами. Полученные результаты¹⁸ вошли в справочную литературу по морскому волнению.

Для развития радиолокации, радиоспектроскопии и радиоастрономии требовалось создать новые методы генерации радиоволн и приемно-измерительную аппаратуру в миллиметровом диапазоне длин волн. Актуальной задачей также было изучение условий распространения радиоволн над поверхностью моря, сушей, в тропосфере и ионосфере, а также явлений и процессов, возникающих при их взаимодействии с различными средами и объектами.

Изучение этих вопросов осуществлялась в ИРЭ АН УССР¹⁹. Он был открыт в 1955 г. и стал первым в Украине академическим институтом радиофизического профиля [69]. Кадровой основой нового института стал коллектив сотрудников сектора электромагнитных колебаний УФТИ. Тематика исследований в ИРЭ АН УССР охватывала фундаментальные и прикладные работы в области электроники, радиофизики миллиметровых и субмиллиметровых волн, физики твердого тела и

¹⁸ Их описание приведено в монографии [67] и статье Ф.Г. Басса, С.Я. Брауде, А.И. Калмыкова и др. [68].

¹⁹ В организации этого института, выработке тематики первых работ принимали активное участие А.Я. Усиков, С.Я. Брауде, А.И. Берг, И.В. Обреимов. Первым директором ИРЭ в период с 1955 по 1973 г. был академик АН УССР А.Я. Усиков (с 1996 г. институт носит его имя). С 1973 по 1993 гг. ИРЭ возглавлял академик АН УССР В.П. Шестопапов, а с 1993 по 2014 г. — академик НАН Украины В.М. Яковенко. С 2014 г. директором ИРЭ является член-корреспондент НАН Украины П.Н. Мележик.

радиоастрономии.

Первоначально деятельность в институте развернулась в трех научных направлениях, предполагающих создание: маломощных высокостабильных генераторов для гетеродинов; генераторов средней мощности с электронной перестройкой частоты в широком диапазоне; мощных импульсных генераторов. За сравнительно короткий срок были разработаны уникальные генераторы миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов длин волн. В 1960 г. за эти работы коллектив сотрудников ИРЭ АН УССР (И.Д. Трутень, А.И. Чернец, Г.Я. Левин, Е.М. Кулешов) во главе с А.Я. Усиковым был удостоен Ленинской премии.

Применяя уникальные источники электромагнитных колебаний в новых диапазонах, коллектив лаборатории поглощения радиоволн ИРЭ АН УССР под руководством А.Я. Усикова выполнил исследования по рассеянию и поглощению миллиметровых волн в осадках, а также исследования динамики образования облаков и влияния метеообразований на радиолокационное обнаружение объектов [70].

Кроме того, по его инициативе в 1961 г. в институте были начаты работы по созданию мощного рубинового лазера, который можно было бы использовать для локации Луны. При этом все элементы, начиная с выращивания специального кристалла до системы обработки принятого сигнала, выполнялись силами сотрудников ИРЭ АН УССР. Положительные результаты экспериментов по выращиванию монокристаллов рубина способствовали дальнейшему развитию исследований и разработок в области квантовой электроники. На этой базе в институте была создана специальная лаборатория по разработке и исследованию высокоэффективных перестраиваемых лазеров на органических красителях.

Успешное развитие ИРЭ АН УССР связано с выдающимися радиофизиками, работавшими в его стенах в разное время. К ним относятся: П.В. Блюх, С.Я. Брауде, А.А. Галкин, В.П. Герман, Н.С. Зинченко, А.И. Калмыков, Э.А. Канер, Г.Я. Левин, И.Е. Островский, С.А. Песковацкий, В.Г. Сологуб, И.Д. Трутень, И.С. Тургенев, А.Я. Усиков, В.П. Шестопалов и др.

Благодаря их творческому потенциалу и организаторской деятельности был выполнен комплекс теоретических и экспериментальных радиофизических исследований, подготовлены высококвалифицированные специалисты и получены важные научно-технические результаты. Перечислим лишь некоторые из них [71]:

- создание магнетронов импульсного действия (режим их работы получил название «харьковский»), магнетронов непрерывного действия, клинотронов, отражательных клистронов, перекрывающих диапазон длин волн от 2 см до 0,5 мм;
- разработка нового класса источников когерентного излучения миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов — генераторов дифракционного излучения импульсного и непрерывного действия с уникальными параметрами: высокой стабильностью, узким спектром и низким уровнем шумов, высоким уровнем мощности;
- создание высокоэффективных источников электромагнитных волн оптического диапазона — лазеров на красителях с управлением частотой вынужденного излучения;
- проведение теоретических и экспериментальных исследований процессов распространения радиоволн различных диапазонов над поверхностью Земли и моря, развитие радиоокеанографии, создание методов и аппаратуры для загоризонтной радиолокации над поверхностью моря;
- развитие нового научного направления — квазиоптической радиометрии, создание комплекса уникальных широкодиапазонных радиоустройств для измерения физических параметров веществ, в том числе плазмы, в диапазоне длин волн 0,1–10 мм;
- экспериментальные исследования процессов генерации когерентных фононов в активных парамагнитных кристаллах и обнаружение монохроматического фононного излучения лазерного типа, создание квантового генератора когерентных фононов — акустического аналога лазера, получившего название «Фазер»;
- разработка уникального комплекса «БУРАН» для изучения нелинейных процессов в ядерных системах методами электронно-спинового и ядерного парамагнитного резонанса;
- выполнение исследований природной среды Земли с аэрокосмических носителей методами дистанционного зондирования, создание комплекса радиофизической аппаратуры, который был установлен на ИСЗ «Космос-1500», «Космос-1602» и в дальнейшем был серийно внедрен на ИСЗ типа «Океан» и в украинских ИСЗ «Сич-1», «Сич-2» и др.

Рассказ о Харьковской радиофизической школе был бы не полон без обсуждения результатов деятельности научной школы С.Я. Брауде в области декаметровой радиоастрономии. В 1985 г. на базе Отделения радиоастрономии ИРЭ АН УССР он совместно с Л.Н. Литвиненко создал новый РИ АН УССР (РИ НАНУ). С момента

открытия института его директором является академик НАНУ Л.Н. Литвиненко.

Радиоастрономический институт, в отличие от УФТИ и ИРЭ АН УССР, почти не был связан с оборонными проектами. Открытость тематики исследований способствовала стремительному росту научной деятельности харьковских радиоастрономов. В разное время в РИ НАНУ работали такие известные ученые, как С.Я. Брауде, А.В. Мень, П.В. Блюх, С.А. Песковацкий, А.А. Минаков и др.

В новом институте С.Я. Брауде стал заведующим отделом декаметрового радиоастрономии. В силу больших экспериментальных трудностей, связанных с влиянием ионосферы Земли, различных искусственных и естественных помех, высокой температуры радиоизлучения Галактики, декаметровый диапазон ($\lambda = 10\text{--}100$ м) к концу 1950-х гг. фактически не был изучен. С целью его освоения С.Я. Брауде вместе с коллегами (А.В. Менем, Ю.М. Бруком, Л.Г. Содиным, Н.К. Шарыкиным и др.) создал радиоастрономические системы декаметровых волн, уникальные по своей чувствительности и пространственному разрешению [72; 73]. В их числе радиотелескоп УТР-2 (рис. 3), запущенный в 1972 г. в районе села Граково (Харьковская область). До сих пор он остается самым чувствительным в мире радиотелескопом декаметрового диапазона (частоты 8–33 МГц).



Рис. 3. Радиотелескоп УТР-2

Благодаря сочетанию высокой эффективности и новых регистрирующих средств, с помощью данного радиотелескопа можно выполнять исследования по различным астрофизическим программам. Они включают в себя изучение Солнца, Юпитера, Сатурна, межпланетных мерцаний, пульсаров и др.

С 1974 г., вскоре после начала эксплуатации УТР-2, С.Я. Брауде организовал работу над новым проектом — созданием системы радиоинтерферометров декаметрового диапазона (частоты 10–25 МГц) УРАН. Эта радиоинтерферометрическая сеть (введена в строй в 1993 г.) состоит из пяти радиотелескопов, установленных на территории Украины. Базовым астрономическим инструментом является телескоп УТР-2, остальные четыре инструмента (с эффективной площадью примерно в 10 раз меньшей, чем УТР-2) образуют с базовой антенной четыре интерферометра:

- УРАН-1 расположен в г. Змиев (в 43 км от УТР-2);
- УРАН-2 — вблизи г. Полтавы (в 176 км от УТР-2);
- УРАН-3 — вблизи г. Шацка Волынской области (в 956 км от УТР-2);
- УРАН-4 — вблизи г. Одессы (в 592 км от УТР-2).

Радиоастрономические наблюдения, проводимые с помощью УРАН, позволяют получить в декаметровом диапазоне рекордное угловое разрешение — около одной угловой секунды. С помощью УТР-2 и УРАН были получены результаты мирового уровня:

- обнаружено низкочастотное радиоизлучение пульсаров;
- проведены измерения протяженных радиоисточников;
- изучено распределение радиоизлучения космического фона,
- исследовано декаметровое излучение тел Солнечной системы и областей поглощения ионизированного водорода;
- обнаружена первая в декаметровом диапазоне радиолиния — нейтрального азота (спустя четверть века после ее теоретического предсказания И.С. Шкловским);
- составлен первый каталог радиоисточников и их спектров в декаметровом диапазоне.

В настоящее время интерес к декаметровой и метровой радиоастрономии значительно возрос. Он выражается в запуске таких инновационных проектов как «LOFAR» и «LWA». Создание широкополосных антенн декаметрового и метрового диапазонов длин волн ведется и в рамках целевой программы «Модернизация радиотелескопа УТР-2 и перспективное развитие декаметровой радиоастрономии в Украине». Она предусматривает:

- разработку и внедрение новых высокоэффективных цифровых приемно-регистрирующих средств для радиотелескопов УТР-2, УРАН и будущих инструментов;

- внедрение новых методов и режимов работы радиотелескопов УТР-2 и УРАН (метод быстрого сканирования диаграммой направленности антенны, многосекционный широкополосный цифровой апертурный синтез);
- создание 25-элементной антенны-решетки из активных диполей диапазона 8–70 МГц — первого звена ГУРТ²⁰ нового поколения;
- новые радиоастрономические исследования, включая поиск новых астрофизических объектов и явлений.

Значительное внимание С.Я. Брауде уделял преподаванию и подготовке высококвалифицированных кадров. Он читал курсы в Харьковском университете, Военной академии им. Л.А. Говорова, заведовал кафедрами харьковских политехнического и инженерно-строительного институтов, был профессором Ленинградского института инженеров связи железнодорожного транспорта.

У С.Я. Брауде сложилась собственная система «выращивания» профессиональных ученых и организаторов научных исследований. В этой связи приведем фрагмент из его интервью. «Слущкин считал, что все его ученики должны оставаться с ним до конца, поэтому и меня не хотел выпускать из своего поля зрения, хотя после защиты докторской диссертации я был уже не мальчиком. А я этого не хотел. Тогда я понял, что если научный сотрудник достигает определенного уровня, его нужно отпускать. Что я и делал в дальнейшем. Когда мои сотрудники вырастали, я отдавал им лабораторию и уходил. Поэтому я три раза поменял направление своих работ. Я начинал с магнетронов, потом перешел на распространение радиоволн, затем на радиоокеанографию и на радиоастрономию. Все эти переходы были связаны с тем, что подрастали сотрудники, и надо было давать им свободу» [Цит. по: 57]. Среди учеников С.Я. Брауде члены-корреспонденты НАНУ А.В. Мень, А.А. Коноваленко, 9 лауреатов Государственных премий СССР и Украины, более 30 кандидатов, 7 докторов наук.

²⁰ К настоящему времени сооружены две антенные решетки ГУРТ, каждая из которых содержит 25 элементов. С их помощью харьковские радиоастрономы уже принимают и анализируют сигналы из космоса в декаметровом диапазоне. Как показали испытания, по своим параметрам (чувствительности, помехоустойчивости, диапазону частот) телескоп ГУРТ превосходит зарубежные аналоги. Предполагается, что оба радиотелескопа — ГУРТ и УРТ-2 — смогут работать как единый инструмент (они находятся на одной территории), который по своим возможностям превзойдет строящиеся в мире радиотелескопы аналогичного диапазона.

Радиофизическая школа МПГУ

В середине XX в. на физическом факультете МПГУ (тогда МГПИ им. В.И. Ленина) работали известные физики — И.Е. Тамм, Е.М. Лифшиц, Г.С. Ландсберг, А.А. Андронов. Под их влиянием на физическом факультете развернулись научные исследования в области радиофизики [74; 75]. Кафедра общей физики в МГПИ была образована в 1938 г., впоследствии она была преобразована в КОЭФ. Первым заведующим кафедрой стал В.Л. Грановский — доктор физико-математических наук, профессор, лауреат Государственной премии СССР (1941 г.), автор научных трудов по физике газового разряда.

Становление радиофизической школы МПГУ связано с именем Н.Н. Малова и его учеников. Николай Николаевич Малов (1903–1990) в 1927 г. закончил физико-математический факультет МГУ. После этого он работал в Государственном рентгеновском институте, а также в Московской магнитной лаборатории (см. главу 3). С 1933 г. научная деятельность Н.Н. Малова была связана с МГПИ, в котором он вырос как преподаватель, и как ученый — доцент, профессор, заведующий КОЭФ (с 1942 по 1954 и с 1958 по 1969 гг.).



Н.Н. Малов

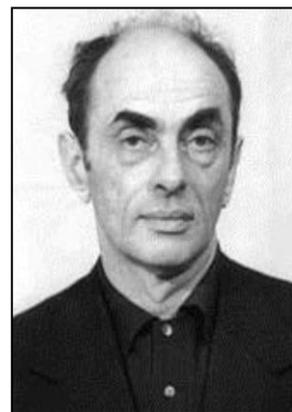
Научные интересы Н.Н. Малова лежали в области физики колебаний и волн. Это обусловлено тем, что он был одним из учеников В.К. Аркадьева, который, в свою очередь, входил в научную школу П.Н. Лебедева. Ее представители разрабатывали методы генерации и исследования электромагнитных волн миллиметрового диапазона.

В 1940 г. Н.Н. Малов защитил докторскую диссертацию. В годы войны тематика его работ была связана с обороной страны. Именно в это время под руководством Н.Н. Малова были получены результаты, которые затем легли в основу теории распространения СВЧ-колебаний в волноводах. Здесь необходимо упомянуть о пионерских исследованиях волноводов, проведенных талантливым физиком, учеником Н.Н. Малова Е.М. Студенковым. В ходе работы он пришел к мысли об использовании разветвленных волноводов для преобразования волн типа H в волны типа E (и обратно) и доказал возможность подобной трансформации рядом изящных опытов, которые легли в основу его кандидатской диссертации. Диссертация Е.М. Студенкова «Экспериментальное изучение распространения электромагнитных волн в полых

проводниках» получила высокую оценку официальных оппонентов — Б.А. Введенского и К.Ф. Теодорчика²¹.

После создания ПРФЛ Н.Н. Малов в течение 10 лет был ее научным руководителем. По воспоминаниям коллег, он был широко эрудированным, доброжелательным, в высшей степени интеллигентным человеком и первоклассным специалистом по физике СВЧ-колебаний. Н.Н. Малов воспитал плеяду учеников, среди которых одним из наиболее талантливых был Е.М. Гершензон [76].

Евгений Михайлович Гершензон (1930–2001) в 1966 г. защитил докторскую диссертацию «Вопросы исследования и применения взаимодействия свободных носителей заряда в полупроводниках со сверхвысокочастотными электромагнитными колебаниями», а с 1969 г. заведовал КОЭФ МПГУ. Е.М. Гершензон — известный ученый в области радиофизики, лауреат Государственной премии СССР (1980 г.),



высококвалифицированный преподаватель, инициатор создания и **Е.М. Гершензон** один из авторов широко известного комплекта учебников по физике для педагогических вузов — «Курса общей физики» (например, [77]). Он вел большую работу и по подготовке научных кадров. Е.М. Гершензоном было подготовлено 43 кандидата и 7 докторов наук. За успехи в организации научно-методической работы и развития вузовского физического образования он был избран членом-корреспондентом РАО.

В 1950-х гг. в вузах СССР формировались коллективы проблемных лабораторий, работающих под эгидой ведущих министерств ВПК. В это время коллектив КОЭФ пополнили молодые талантливые ученые (прежде всего, В.С. Эткин и Е.М. Гершензон). По их инициативе и при участии Н.В. Александрова (впоследствии первого заместителя министра просвещения РСФСР, 1964–1980 гг.) в 1959 г. на физическом факультете МГПИ открылась ПРФЛ [78]. Вскоре она стала крупнейшим научным подразделением в

²¹ В 1942 г. Е.М. Студенков вступил в ряды действующей армии и с боями прошел славный путь от северных отрогов Кавказского хребта до Центральной Венгрии. Даже в тяжелых условиях войны он не забывал о науке. Так, в период временного затишья в военных операциях, находясь на границе Румынии, Е.М. Студенков оборудовал в сарае подобие лаборатории и построил в ней гидравлическую модель клистрона. 30 декабря 1944 г. в районе г. Эрги (Венгрия) Ефим Михайлович Студенков погиб на боевом посту.

педагогических вузах СССР. Кроме того, в МГПИ был организован совместный с РТИ семинар, посвященный параметрическим устройствам. Впоследствии в его тематику были включены вопросы, связанные с мазерами и лазерами. Как отмечал Ю.А. Кравцов²² (участник этого семинара), «благожелательная и высокопрофессиональная атмосфера этого семинара сделала его крайне популярным в Москве» [79. С. 244].

Научная школа КОЭФ всегда работала над самыми актуальными проблемами радиофизики в стране и в мире. Довоенный период и первые послевоенные годы связаны с научными исследованиями в области физики СВЧ-колебаний. Дальнейшее развитие научной школы КОЭФ МПГУ происходило в рамках ПРФЛ. В конце 1950-х — начале 1960-х гг. ее сотрудниками был получен выдающийся научно-технический результат. Под руководством Е.М. Гершензона и В.С. Эткина был создан первый в СССР малошумящий параметрический усилитель СВЧ на полупроводниковых диодах, предложены основы его расчета, сконструированы и реализованы несколько типов усилителей, ставших базовыми для промышленности. Отметим, что теория малошумящих параметрических усилителей была разработана в лаборатории С.М. Рытова в РТИ АН и опубликована в 1960 г. в виде статьи [80], написанной им совместно с Л.Л. Горышником и Ю.А. Кравцовым.

Таким образом, создание новых радиофизических устройств стало экспериментальным подтверждением основных положений этой теории. Кроме того, Е.М. Гершензоном и В.С. Эткиным была написана первая в мире монография по полупроводниковым параметрическим усилителям [81].

В 1960-х и 1970-х гг. фронт исследований радиофизической школы МПГУ заметно расширился. В это время отечественная вузовская наука активно занималась различными аспектами физики полупроводников. Значительное внимание уделялось изучению физических процессов в идеальных полупроводниковых кристаллах. Коллектив ПРФЛ проводил исследования слабосвязанных состояний в таких кристаллах и работал над созданием приборов на их основе. При этом, как правило, использовались радиофизические методы и представления. Так, в ПРФЛ были выполнены

²² Ю.А. Кравцов подготовил первую в РТИ открытую (не секретную) диссертацию по параметрическим генераторам и защитил ее на Ученом совете МГПИ, в состав которого входили такие выдающиеся физики как Э.В. Шпольский, М.С. Рабинович, Р.В. Хохлов, Н.Н. Малов.

теоретические и экспериментальные исследования ряда магниторезонансных явлений в высокочистых монокристаллических материалах — германии (Ge), кремнии (Si), антимониде индия (InSb) и других материалах.

Оригинальность исследовательского подхода, использовавшегося в ПРФЛ, состояла в том, что частоты, на которых выполнялись эксперименты, постепенно росли, достигнув самых высоких значений в радиодиапазоне (длины волн 3–0,5 мм). Это стало возможным благодаря использованию ЛОВ-спектроскопии. В результате этих исследований была разработана уникальная радиоспектроскопическая аппаратура, а полученные с ее помощью результаты исследований вошли в золотой фонд физики полупроводников [82; 83]. Этот цикл работ получил высокую оценку: в 1980 г. Е.М. Гершензону в составе авторского коллектива была присвоена Государственная премия СССР за создание субмиллиметровой спектроскопии на основе ЛОВ.

Используя методы ЛОВ-спектроскопии, сотрудники ПРФЛ изучали резонансные эффекты (циклотронный и электронный парамагнитный резонансы), спектры примесных и экситонных состояний в полупроводниках. Кроме того, проводились не имевшие аналогов исследования примесной проводимости полупроводников. Именно в ПРФЛ работала первая в нашей стране и мире установка для таких исследований при сверхнизких (до 0,3 К) температурах.

Спектроскопическими методами были обнаружены отрицательно заряженные мелкие донорные примеси и положительно заряженные акцепторные примеси в полупроводниках (Ge, Si), впервые наблюдались водородоподобные электродипольные переходы внутри свободных экситонов в Ge. Эти работы позволили объяснить ряд важных физических явлений, а также разработать новые методы измерения параметров Ge, Si, InSb, благодаря чему удалось получать их в сверхчистом виде.

Исследования параметрических устройств переросли в цикл работ по созданию сверхмалошумящих СВЧ-приемников — радиометров, предназначенных для радиоастрономии и дистанционного мониторинга Земли и Мирового Океана. Эти работы проводились совместно с ИКИ. Один из отделов этого института был образован сотрудниками ПРФЛ во главе с Валентином Семеновичем Эткиным (1931–1995) — выдающимся ученым в области радиофизики и океанологии [84].



В.С. Эткин

Как отмечал Ю.А. Кравцов, «научный коллектив Проблемной радиофизической лаборатории МГПИ стремительно набирал силу, и к середине шестидесятых годов ему стало невероятно тесно в стенах МГПИ. Высокочувствительные параметрические приемники, разрабатываемые для радиолокации, вскоре были востребованы радиоастрономами. В конце концов, это и предрешило вопрос о переводе Валентина Семеновича вместе со своими сотрудниками из МГПИ в ИКИ» [79. С. 244–245].

Кратко обсудим результаты его научной деятельности. Окончив с отличием физико-математический факультет МГПИ (1954 г.), В.С. Эткин был рекомендован в аспирантуру при КОЭФ. После ее окончания в 1957 г. он был оставлен для продолжения работы на кафедре, где в 1958 г. защитил кандидатскую диссертацию, а в 1964 г. — диссертацию на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. В ПРФЛ В.С. Эткин был заместителем заведующего лабораторией. С 1968 г. он заведовал отделом радиофизики ИКИ, а с 1974 г. — отделом прикладной космической физики этого института, совмещая работу с преподаванием на КОЭФ и руководством на общественных началах радиофизическим сектором ПРФЛ.

На первом этапе усилия В.С. Эткина были направлены на применение параметрических усилителей в радиоастрономии, но впоследствии сфера его научных интересов существенно расширилась. Тесные контакты с И.С. Шкловским, Я.Б. Зельдовичем, Р.З. Сагдеевым, Н.С. Кардашевым, И.Д. Новиковым и другими ведущими сотрудниками ИКИ привели к тому, что коллектив, возглавляемый В.С. Эткиным, стал активным участником проекта по созданию космического радиотелескопа КРТ-10.

Кроме того, в ИКИ В.С. Эткин создал новое научное направление — дистанционное зондирование поверхности Земли из космоса радиофизическими методами. Главной задачей стало изучение поверхности океана с целью выявления внутритрокеанических процессов по их поверхностным проявлениям. Исследования океана потребовали создания ряда уникальных комплексов радиометров для самолетных и корабельных исследований подстилающих поверхностей (земли, снежного покрова, морской поверхности и т. д.). В их числе — единственный в своем роде комплекс криогенных приемников гелиевого уровня охлаждения (широкополосных джозефсоновских радиометров) с предельно возможной чувствительностью, предназначенный для использования на борту корабля.

Разработанные радиометры успешно использовались в ряде глобальных

экспериментов по мониторингу подстилающих поверхностей. К ним относится единственный в мировой практике (на тот момент) эксперимент по изучению морского волнения с борта судна с помощью комплекса криогенных радиометров.

Под руководством В.С. Эткина работы в отделе прикладной космической физики ИКИ велись по двум магистральным направлениям:

- исследования собственного и рассеянного излучения морской поверхности,
- изучение динамических характеристик процессов на поверхности океана, в значительной мере определяющих его характер излучения и рассеяния.

В 1970–1980-е гг. государство выделяло огромные средства на исследования океана с целью обнаружения подводных объектов, для развития экологического мониторинга, прогнозирования погоды и решения прикладных задач ВМФ. Значительную финансовую поддержку получил и отдел прикладной космической физики, возглавляемый В.С. Эткиным.

В итоге многолетних целенаправленных экспериментов в различных районах Мирового океана (в рамках программы Океан-И) сотрудники В.С. Эткина получили важные научные результаты. Используя самолетные радары и радиометры, они выполнили исследования разнообразных природных явлений вблизи поверхности океана: внутренних волн в океане, гидрологических фронтов, течений, ленгмюровских ячеек, атмосферных конвективных ячеек, нефтяных и биологических загрязнений и др.

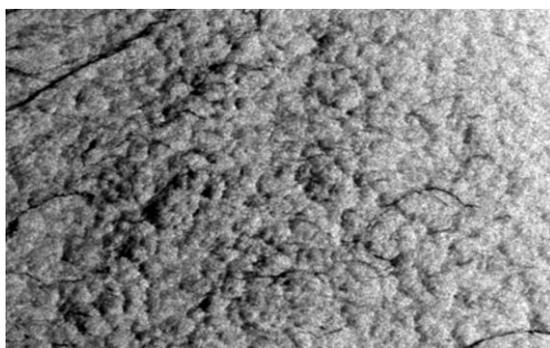
Вскоре В.С. Эткин стал ведущим специалистом по радиолокационным и радиометрическим методам изучения океана. Располагая собственными данными о микроволновом тепловом излучении моря, полученными с борта самолета-лаборатории, В.С. Эткин пришел к выводу, что тепловое излучение морской поверхности подчиняется селективным, резонансным закономерностям. Несколько месяцев интенсивных расчетов привели его с Ю.А. Кравцовым «к исключительно простой, если не сказать элегантной, модели тепловой электромагнитной эмиссии» [79. С. 245].

С точки зрения закона Кирхгофа, рост теплового излучения в определенных критических направлениях обусловлен резонансным поглощением волн, распространяющихся под тем же углом в сторону морской поверхности. Резонансная модель излучения (резонансный механизм Эткина — Кравцова) была подтверждена экспериментально [85].

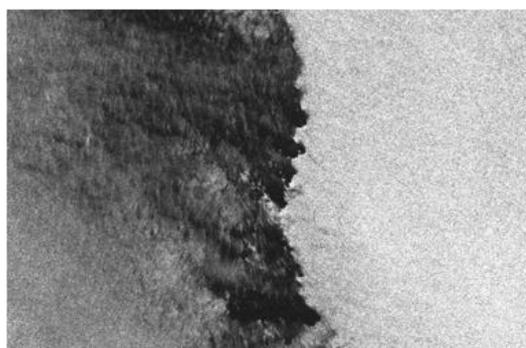
В 1992 г. В.С. Эткину удалось запустить масштабный российско-американский

проект «JUSREX'92» [79; 86]. При его проведении использовались самолеты-лаборатории ТУ-134СХ, Р-3 и DC-8. Исследования проводились в Атлантическом океане к юго-востоку от Нью-Йорка, в шельфовой экономической зоне США. В эксперименте участвовало также научно-исследовательское судно «Академик Иоффе», на котором работали отряды ИКИ, ИПФ, Института океанологии РАН и группа сотрудников Лаборатории прикладной физики (Университет Джонса Хопкинса, Балтимор, США), руководимая Дж. Апелем и Р. Чепманом. Впервые в истории российско-американского сотрудничества российский самолет-лаборатория базировался на территории США. Кроме того, к эксперименту был привлечен российский спутник, снабженный радаром с синтезированной апертурой.

Основная цель эксперимента «JUSREX'92» состояла в исследовании взаимосвязи между параметрами спектра шероховатости морской поверхности, величиной обратного рассеяния радиолокационного сигнала и яркостной температуры в микроволновом диапазоне при различных метеорологических условиях. Другая цель заключалась в сравнении радиометрических, радарных, оптических и контактных методов исследования океана. Полученные результаты оказали мощное влияние на развитие методов исследования морской поверхности (рис. 4).



а — конвективные ячейки



б — атмосферный фронт



в — подветренные структуры



г — вихри в океане

Рис. 4. Примеры радиолокационных снимков (эксперимент «JUSREX'92»)

В частности было показано, какой суммарный эффект может дать совместное использование радиометрических и радиолокационных данных при дистанционном зондировании океана.

Как уже говорилось, одним из ключевых открытий, сделанных В.С. Эткиным и его сотрудниками, стало экспериментальное открытие и теоретическое объяснение резонансного механизма теплового излучения поверхности океана в микроволновом диапазоне, названного теорией «критических явлений». Дальнейшие исследования были направлены на раскрытие и формулировку основных положений теории «критических явлений» и объединяли результаты как натуральных, так и лабораторных экспериментов [87–89].

Много сил и времени В.С. Эткин отдавал преподаванию в МПГУ. Будучи педагогом-новатором, он выступил инициатором перестройки курса физики в этом университете, разработал новые демонстрации и лабораторные работы практикума. В.С. Эткин сыграл видную роль в улучшении подготовки учителей физики, был соавтором многотомного курса общей физики и учебника по радиотехнике для педвузов, которые используются и сейчас в большинстве педагогических вузов страны.

В.С. Эткин был талантливым ученым и педагогом, он обладал даром убеждения, научной проницательностью, смелостью и стратегическим мышлением. Его научные и технические разработки, идеи, статьи и книги, прямо и косвенно через учеников (среди них 64 кандидата наук и несколько докторов наук, в частности И.А. Струков, В.Ю. Райзер, Е.А. Шарков, Ю.Л. Хотунцев) еще долго будут оказывать влияние на развитие радиофизики. Ю.А. Кравцов писал: «Как и Константин Иосифович Грингауз (создатель радиопередатчика, установленного на борту первого искусственного спутника Земли — *В.К.*), Валентин Семенович принадлежал к породе руководителей-энтузиастов, которые способны были вдохновить сотрудников на самоотверженные поиски. В этом отношении их яркие фигуры выделяются даже на фоне других блестящих личностей, которыми столь богата история ИКИ» [79. С. 247].

Продолжим обсуждение результатов деятельности ПРФЛ. Спектроскопические исследования полупроводников привели Е.М. Гершензона и его сотрудников к аналогичному изучению сверхпроводников и сверхпроводниковых структур. Это направление возглавил ученик Е.М. Гершензона Григорий Наумович Гольцман. В 1973 г. он защитил кандидатскую диссертацию на тему «Субмиллиметровая спектроскопия

полупроводников», а в 1985 — докторскую диссертацию на тему «Субмиллиметровая ЛОВ-спектроскопия полупроводников и сверхпроводников».

В настоящее время Г.Н. Гольцман — заведующий КОЭФ и научный руководитель УНРЦ, пришедшему на смену ПРФЛ. Кроме того, он является заведующим лабораторией инфракрасной и субмиллиметровой астрономии отдела квантовой астрофизики АКЦ ФИАН. С 2013 г. Г.Н. Гольцман возглавляет кафедру квантовой оптики и телекоммуникаций в НИУ «Высшая школа экономики».

Наиболее важным событием стало обнаружение, теоретическое обоснование и детальное изучение эффектов, связанных с разогревом электронов в сверхпроводниках, находящихся в резистивном состоянии [90–93]. Наряду со значительной фундаментальной ценностью, указанный эффект находит многочисленные практические применения. На его основе был разработан смеситель на горячих электронах (1990 г.). Только через три года появилась первая конкурирующая публикация из Йельского университета (США) о сверхпроводниковом смесителе на горячих электронах с диффузионным каналом охлаждения.

В настоящее время к одному из магистральных направлений исследований радиофизической школы МПГУ относятся неравновесные явления и пространственно неоднородные процессы в сверхпроводниковых наноструктурах — ультратонких пленках толщиной в несколько атомных слоев, узких или коротких сверхпроводящих полосках и мостиках. Полученные при этом результаты послужили основой ряда прикладных проектов. Один из них — создание рекордных по характеристикам малошумящих и широкополосных смесителей терагерцового диапазона частот, требующих малой мощности гетеродина, а также однофотонных инфракрасных и оптических детекторов, сочетающих пикосекундное быстроедействие, высокую квантовую эффективность и рекордно малое число ложных срабатываний [94]. Это позволяет осуществить практическое применение приборов, созданных на базе сверхпроводниковых наноструктур в ряде областей науки и техники:

- терагерцовая астрономия (исследование звездообразования в молекулярных облаках, пылевых туманностях, остатках сверхновых);
- радиофизика (дистанционное зондирование верхних слоев атмосферы в субмиллиметровом диапазоне для мониторинга гетерогенных химических реакций и наличия примесей-катализаторов, предположительно отвечающих за состояние

озонового слоя и глобальное потепление климата);

- оптика (создание новых типов сверхчувствительных приемников, счетчиков фотонов и приемных устройств для квантовой криптографии и других применений в волоконных линиях связи инфракрасного диапазона);

- электроника (разработка приборов для неразрушающей диагностики комплементарной структуры металл-оксид-полупроводник КМОП СБИС путем детектирования излучения горячих электронов в переключающихся полевых транзисторах).

Во многих отечественных и зарубежных проектах в области терагерцовой астрономии и зондирования верхней атмосферы Земли применяют сверхпроводниковые смесители на горячих электронах (рис. 5), разработанные радиофизической школой МПГУ [95].

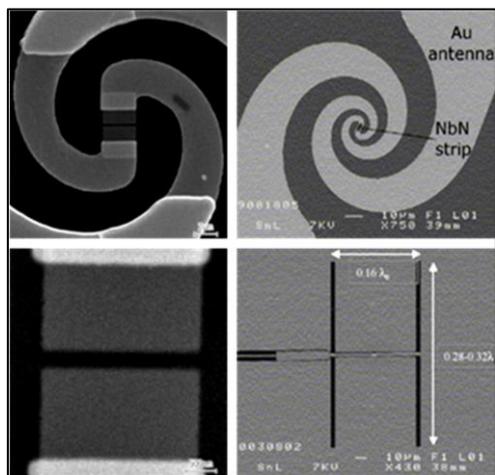


Рис. 5. Сверхпроводящий смеситель терагерцового диапазона с характерными размерами 50–100 нм, интегрированный с планарной антенной

На основе эффекта электронного разогрева в тонких сверхпроводящих пленках сконструированы быстродействующие приемники излучения с чрезвычайно широкой полосой частот, из которых наиболее перспективны сверхпроводниковый НЕВ-смеситель и одnofотонный детектор [96].

Созданные в МПГУ НЕВ-смесители используются Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics (Смитсоновским Астрофизическим Центром Гарвардского университета, США) в терагерцовой обсерватории, расположенной в пустыне Атакама (Чили). В течение нескольких лет там работал единственный в мире наземный терагерцовый телескоп с супергетеродинным приемником на частотах 1,03, 1,26 и 1,46 ТГц. Кроме того, НЕВ-смесители были установлены на телескопе космического базирования «Гершель». Отметим, что НЕВ-смесители (диапазон частот 1,5–1,9 ТГц) для этого

телескопа были изготовлены МПГУ совместно с Чалмерским Технологическим университетом (Швеция).

Геофизическое использование НЕВ-смесителей планируется в рамках проекта «TELIS». Он представляет собой гетеродинный спектрометр для дистанционного исследования атмосферы с борта высотного аэростата в диапазоне частот 450–650 ГГц. В этом проекте идет совместная работа МПГУ с Институтом технологии космического зондирования (Берлин, Германия). В сотрудничестве с этим же институтом ведутся исследования в рамках проекта «SOFIA» с терагерцовым каналом, равным 4,7 ТГц. Эта обсерватория базируется на борту самолета.

Сверхпроводниковые однофотонные детекторы («SSPD»), работающие на основе эффекта электронного разогрева в тонких сверхпроводящих пленках, не имеют принципиальных ограничений со стороны высоких частот и демонстрируют высокую чувствительность. Однофотонные ИК детекторы удалось успешно использовать для функциональной и технологической диагностики КМОП СБИС последнего поколения путем детектирования излучения горячих электронов в каналах переключающихся полевых транзисторов.

Детекторы «SSPD» функционируют в очень широком диапазоне (от ультрафиолетовых до инфракрасных волн) и способны регистрировать световые потоки от одного фотона в минуту до 10^9 – 10^{10} фотонов в секунду. Одним из реализованных применений однофотонных сверхпроводниковых детекторов является бесконтактный метод диагностики и тестирования микросхем. Фирмой NPtest (США) был создан тестер микросхем, использующий сверхпроводниковый однофотонный детектор. С его помощью проводилось тестирование микросхем методом «PISA» с высоким временным разрешением [97]. Наблюдения велись через подложку микросхемы. В поле зрения прибора попадала площадь диаметром 160 мкм, на которой могли располагаться множество инвертеров с разным временем срабатывания. Таким образом, можно получать информацию о работе практически каждого транзистора микросхемы.

Важное место в современной астрофизике занимает круг задач, для решения которых необходим прием очень слабых сигналов. Это, например, исследование анизотропии реликтового излучения, несущего информацию о первых мгновениях существования Вселенной, поиск планет земного типа, богатых водой и кислородом вблизи очень удаленных звезд, изучение процессов формирования звезд и планетных

систем из газопылевых облаков, удаленных объектов Солнечной системы и астероидная безопасность Земли.

Рассмотрим, как решаются эти задачи в проекте «Миллиметрон» («Спектр-М»). В его рамках запланирован запуск космической обсерватории (после 2019 г.) с охлаждаемым зеркалом диаметром 12 м и приборным комплексом, который рассчитан на диапазон длин волн: 20 мкм — 1,5 см. В него будут входить: широкополосный матричный болометрический приемник (~ 1000 элементов, диапазон длин волн 0,2–3 мм); гетеродинные приемники в диапазоне частот 0,3–1,5 ТГц, включенные в состав комплекса интерферометров «Космос — Космос» и «Земля — Космос»; спектрополяриметрические системы, работающие в диапазоне длин волн 10 мкм — 3 мм. Одной из фундаментальных задач, стоящих перед проектом, является разработка радиоастрономических наблюдательных приемных систем для телескопа космического базирования. В разработках этих систем участвует радиофизическая школа МПГУ.

В 2013 г. в МПГУ была создана лаборатория квантовых детекторов, в которой разрабатываются технологии создания ультратонких сверхпроводниковых пленок для последующего производства на их основе быстродействующих и высокочувствительных детекторов электромагнитного излучения видимого, ИК и терагерцового диапазонов. Руководителем лаборатории квантовых детекторов (в рамках мегагранта Правительства РФ) является Т. Клапвик — специалист в области неравновесной сверхпроводимости, профессор квантовых наносистем Технологического университета г. Делфт (Нидерланды)²³.

В последние два года сотрудниками научной школы проводятся исследования, направленные на создание действующего прототипа квантово-криптографической системы связи (предельная дальность 320 км) с использованием волноводных сверхпроводящих однофотонных детекторов («WSSPD») на чипе. Целью исследований является создание лабораторной модели системы распределения квантового ключа с поляризационным кодированием сигнала и использованием ловушечных состояний.

²³ Т. Клапвик внес существенный вклад в теорию, которая теперь известна как теория Блондера — Тинкхама — Клапвика, в совершенствование болометров на эффекте электронного разогрева, а также сверхпроводниковых туннельных переходов для гетеродинного детектирования в диапазоне частот 300 ГГц — 5 ТГц. Эти исследования нашли применение в таких международных научных проектах как космический телескоп «Гершель» и «ALMA».

Работы выполняются в сотрудничестве с группой из Технологического института г. Карлсруэ, возглавляемой В. Пернайсом.

Расскажем теперь о специфике подготовки научных кадров в рассматриваемой научной школе. В коллективе развиваются традиции многоступенчатой подготовки научных кадров, заложенные Е.М. Гершензоном. Профессора и доценты привлекают к научным исследованиям студентов. Лучшие из студентов и магистров направляются в аспирантуру и привлекаются к выполнению научно-исследовательских работ. Аспиранты и магистранты попадают в коллектив, где под руководством опытных научных сотрудников осваивают современные методы исследований сверхпроводниковых наноструктур, технологические процессы их производства, овладевают методами обработки экспериментальных данных и теоретического анализа. Параллельно идет разработка фундаментальной или прикладной задачи под руководством профессора.

Современная традиция, сложившаяся в научной школе, — организация зарубежных стажировок для молодых ученых и аспирантов в научно-исследовательских центрах мирового уровня (Гарвардском, Бостонском университетах, Институте планетных исследований в Берлине и др.).

Особенностью радиофизической школы МПГУ является совместная работа коллектива УНРЦ с малыми инновационными компаниями. В результате образуется научная, техническая и образовательная структура, технологически оснащенная на мировом уровне и укомплектованная квалифицированными кадрами. К настоящему времени созданы такие компании как «Сверхпроводниковые нанотехнологии» («Сконтел») и «Микроволновые технологии обогащения и сортировки руд» (ООО «Мирос»).

Как отмечает Г.Н. Гольцман, «...мы занимаемся и фундаментальными исследованиями, и прикладными разработками, развитием технологий и их коммерциализацией, т.е. мы осуществляем полный инновационный цикл. Результатом работы являются не только статьи в высокорейтинговых научных журналах, новые технологии и практические устройства, но и, главное, специалисты с высокой квалификацией, либо продолжающие дальше академическую карьеру (фундаментальная наука и преподавание в университетах), либо работающие на предприятиях в научно-технической сфере» [98. С. 6].

В завершение отметим, что за более чем полувековой период деятельности радиофизической школы МПГУ из ее стен вышли известные ученые-радиофизики. Среди них доктора физико-математических наук:

- Ю.А. Гурвич — специалист в области теории резонансных явлений в полупроводниках;
- Л.Б. Литвак-Горская, А.П. Мельников — специалисты в области физики полупроводников;
- В.А. Ильин — специалист в области прикладной сверхпроводимости, автор первого корабельного комплекса широкополосных радиометров гелиевого уровня охлаждения;
- Ю.Л. Хотунцев, А.Н. Мансуров — специалисты в области СВЧ-радиофизики;
- И.А. Струков — выдающийся астрофизик-экспериментатор, фактический первооткрыватель анизотропии реликтового излучения и др.

Признанием выдающихся научных достижений радиофизической школы МПГУ стало присуждение в 2017 г. Г.Н. Гольцману международной премии IEEE²⁴ (рис. 6). Она была ему вручена за изобретение и продвижение болометрического смесителя на горячих электронах, сверхпроводящего однофотонного детектора, а также за вклад в понимание процессов релаксации энергии электронов в примесных сверхпроводящих пленках. До сих пор российские ученые не получали эту премию.



Рис. 6. Г.Н. Гольцман — лауреат престижной премии IEEE 2017 г.

²⁴ Это крупное научное сообщество в области инженерии, физики, техники, объединяющее сотни тысяч специалистов по всему миру.

Выводы

1. Работы представителей научной школы Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси К.Ф. Теодорчика и В.В. Мигулина привели к формированию кафедры физики колебаний МГУ. Она была организована в 1931 г. с целью разработки единого подхода к изучению колебательных явлений независимо от их физической природы и в связи со стремительным развитием радиоэлектроники. Работы основателя кафедры — Л.И. Мандельштама, его сотрудников и учеников А.А. Андропова, С.Э. Хайкина, А.А. Витта, Г.С. Горелика, С.П. Стрелкова, К.Ф. Теодорчика, В.В. Мигулина и др. получили мировое признание. В настоящее время на кафедре физики колебаний продолжают разрабатываться актуальные проблемы современной радиофизики, связанные с практическими применениями.

2. Благодаря деятельности научных школ А.В. Гапонова-Грехова (ученика А.А. Андропова) и М.А. Миллера (ученика М.Л. Левина), в Поволожском регионе образовался уникальный научный, образовательный и технологический кластер — Нижегородская радиофизическая школа. Она стала общепризнанным исследовательским центром в области теоретического и экспериментального изучения колебательных, волновых и флуктуационных процессов.

3. Организация ИРЭ АН УССР стала закономерным следствием развития радиофизики в Харьковском университете и УФТИ. У истоков радиофизических исследований в Харькове стоял Д.А. Рожанский, вокруг которого сформировался коллектив исследователей-единомышленников. Среди них особая роль принадлежала А.А. Слуцкину — талантливому радиофизику и организатору эффективной научной школы. Ее представителями стали А.Я. Усиков, С.Я. Брауде, В.К. Ткач, К.И. Кононенко, А.И. Терещенко. Впоследствии А.Я. Усиков, С.Я. Брауде и их научные школы внесли основополагающий вклад в развитие квантовой электроники, радиоокеанографии, декаметрового радиоастрономии и других радиофизических дисциплин. Благодаря этим ученым были организованы ИРЭ АН УССР (сейчас ИРЭ им. А.Я. Усикова НАНУ) и РИ НАНУ — научно-исследовательские центры, составляющие основу Харьковской радиофизической школы.

4. С именем Н.Н. Малова — ученика В.К. Аркадьева связано зарождение радиофизической школы МПГУ. Основополагающий вклад в ее развитие на КОЭФ и функционирование в рамках ПРФЛ и УНРЦ внесли Е.М. Гершензон, Г.Н. Гольцман,

В.С. Эткин. Ими и их учениками были выполнены фундаментальные работы в области физики СВЧ-колебаний, полупроводниковых параметрических усилителей, ЛОВ-спектроскопии, дистанционного мониторинга Земли и Мирового Океана радиофизическими методами, физики неравновесных явлений и пространственно неоднородных процессов в сверхпроводниковых наноструктурах и др.

Результаты, полученные радиофизической школой МПГУ, находят применение в квантовой криптографии, радиоастрономии, физике сверхбыстрых процессов, нанооптике.

Таким образом, рассмотрены четыре радиофизических центра, история которых берет свое начало с описанных ранее научных школ:

- современная кафедра колебаний физики МГУ и Нижегородская радиофизическая школа унаследовали и продолжили традиции научной школы Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси (схема 1);

- у истоков Харьковской радиофизической школы стоял Д.А. Рожанский и его научный коллектив (схема 2);

- с научной школой Н.Н. Малова (ученика В.К. Аркадьева, который, в свою очередь, был представителем научной школы П.Н. Лебедева) связано основание и развитие радиофизической школы МПГУ (схема 3).

В схемах 1–3 использованы следующие цветовые выделения:

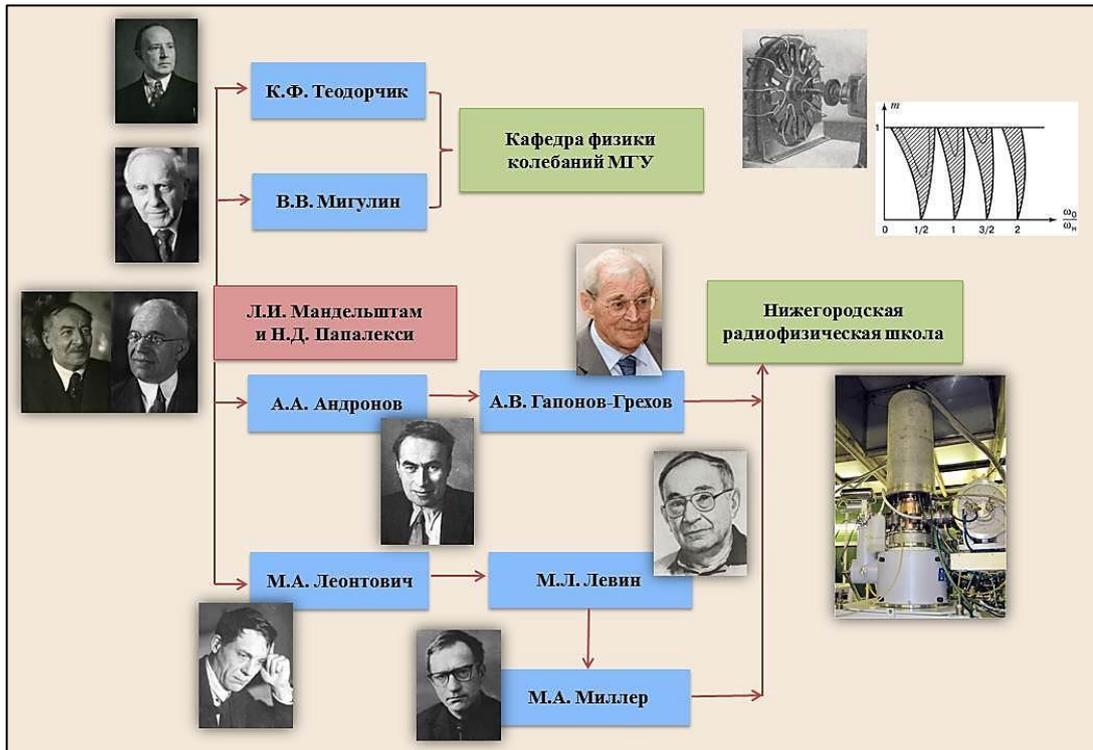
- **красным цветом** отмечена научная школа, ставшая прародительницей современных радиофизических центров;

- **синим цветом** показаны научные коллективы, ведущие свою историю от научной школы-прародительницы;

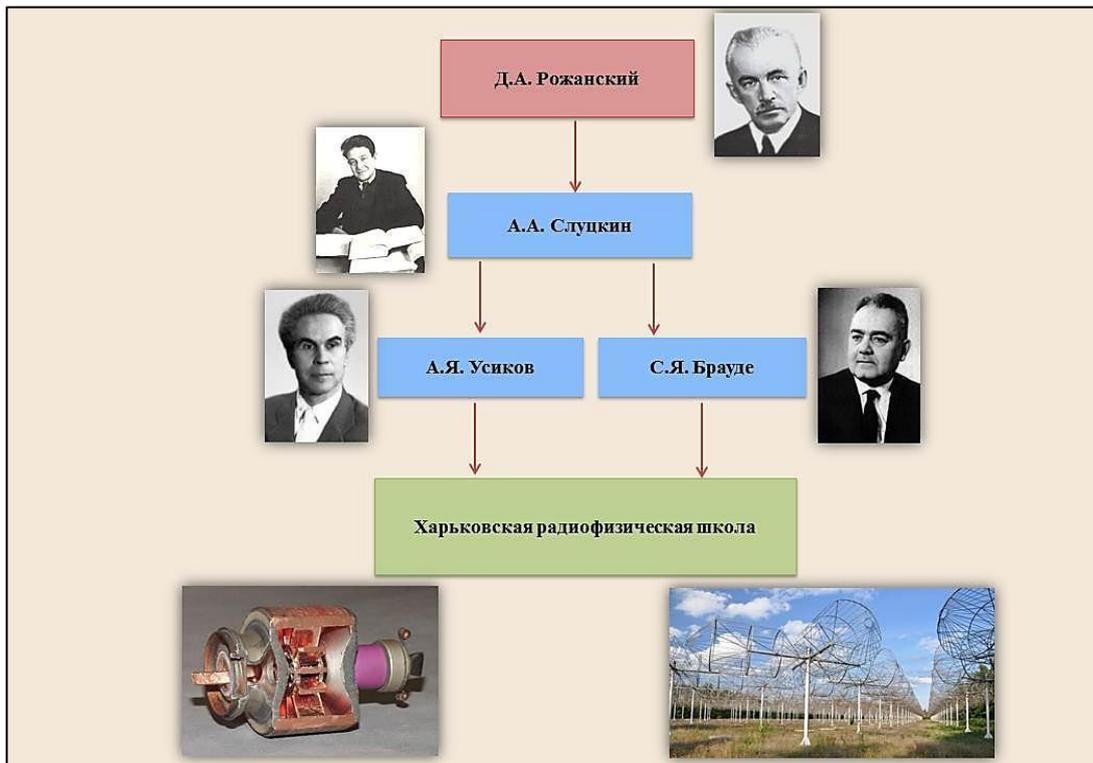
- **зеленым цветом** отображены современные радиофизические центры.

В приведенных схемах указаны лишь те научные школы, которые были рассмотрены (или упомянуты) в историко-научном исследовании.

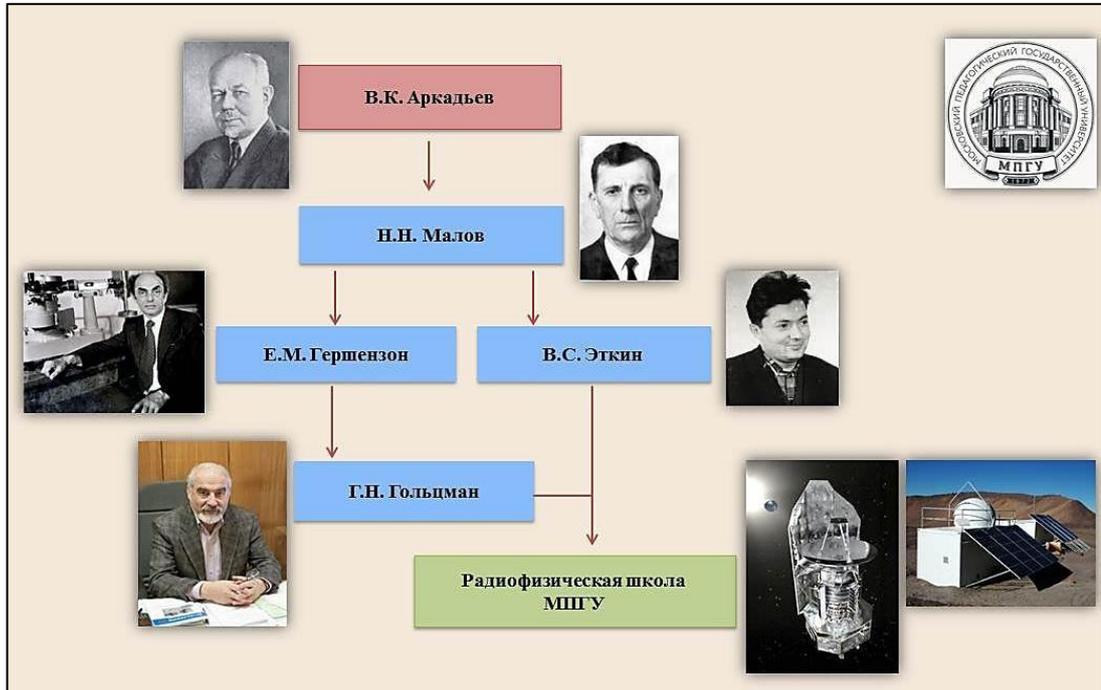
Эволюция научной школы Л.И. Мандельштама — Н.Д. Папалекси



Эволюция научной школы Д.А. Рожанского



Эволюция научной школы В.К. Аркадьева



Литература

1. Кузнецов Ю.И., Минакова И.И. Казимир Францевич Теодорчик. — Серия «Выдающиеся ученые физического факультета МГУ». — Вып. VII. — М.: Физический факультет МГУ, 2003. — 86 с.
2. Летопись Московского университета. Теодорчик Казимир Францевич. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://letopis.msu.ru/peoples/3647>.
3. Теодорчик К.Ф., Введенский Б.А. Исследование аномального хода магнитной проницаемости железа в области 1–100 м // Труды III Съезда Российской ассоциации физиков. — Н. Новгород, 1925. — С. 14–16.
4. Теодорчик К.Ф., Хайкин С.Э. Акустическое захватывание // ЖТФ. — 1932. — Т. 2. — № 1. — С. 111–118.
5. Теодорчик К.Ф., Секерская Е.Н. Прибор для абсолютного измерения интенсивности звука по методу акустического захватывания // ЖТФ. — 1934. — Т. 6. — № 5. — С. 1009–1013.
6. Электронная библиотека «Научное наследие России». Теодорчик Казимир Францевич. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://e-heritage.ru/ras/view/person/history.html?id=47736815>.
7. Теодорчик К.Ф. Автоколебательные системы. — М.–Л.: ГИТТЛ, 1944. — 104 с.
8. Теодорчик К.Ф. Энергетические циклы автоколебательных систем томсоновского типа // ЖТФ. — 1939. — Т. 9. — № 11. — С. 1005–1007.
9. Теодорчик К.Ф. Автоколебательные системы с инерционной нелинейностью // ЖТФ. — 1946. — Т. 16. — № 7. — С. 845–850.
10. Теодорчик К.Ф. Траектории корней характеристического уравнения системы третьего порядка при непрерывном изменении свободного члена и максимальная достижимая при этом устойчивость // ЖТФ. — 1948. — Т. 18. — № 11. — С. 1394–1398.
11. Хохлов Р. В. Метод поэтапного упрощения укороченных уравнений и его применение к некоторым проблемам радиофизики: Автореферат докторской диссертации. — М.: МГУ, 1961. — 9 с.
12. Кузнецов Ю.И., А.С. Логгинов, Минакова И.И. Владимир Васильевич Мигулин. — Серия «Выдающиеся ученые физического факультета МГУ». — Вып. XI. — М.: Физический факультет МГУ, 2006. — 92 с.
13. О научной и педагогической деятельности академика В.В. Мигулина (Доклад

профессора А.С. Логгинова на заседании Ученого совета физического факультета МГУ 27 сентября 2001 г.). — С. 137–142.

14. Андреев А.Ф., Боярчук А.А., Брагинский В.Б. и др. Памяти Владимира Васильевича Мигулина // УФН. — 2002. — Т. 172. — № 12. — С. 1473–1474.

15. Зайцев А. Академику В.В. Мигулину — 90 лет. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://housea.ru/index.php/history/50896>.

16. Мигулин В.В. Интерференция радиоволн // УФН. — 1947. — Т. XXXIII. — Вып. 3. — С. 353–438.

17. Мигулин В.В. Л.И. Мандельштам и исследования по радиоинтерферометрии // УФН. — 1979. — Т. 128. — Вып. 4. — С. 667–680.

18. Мигулин В.В., Альперт Я.Л. Исследование фазовой структуры электромагнитного поля радиоволн вблизи земной поверхности // Известия АН СССР (серия физическая). — 1940. — Т. 4. — № 3. — 1940. — С. 458–467.

19. Мигулин В.В. Комбинационный резонанс // Труды ФИАН. — 1937. — Т. 1. — Вып. 3. — С. 77–111.

20. Мигулин В.В. Развитие радиоинтерференционных методов // Советская наука. — 1940. — № 12. — С. 118–121.

21. Мигулин В.В. Лекции по основам радиолокации. — М.: Издательство МГУ, 1958. — 122 с.

22. Мигулин В.В., Мустель Е.Р., Парыгин В.Н. Основы теории колебаний / Под ред. В.В. Мигулина. — М.: Наука, 1978. — 392 с.

23. Азьян Ю.М., Берестовский Г.Н., Кайцов Л.Н. и др. Полупроводниковые триоды в регенеративных схемах / Под ред. В.В. Мигулина. — М.-Л.: Госэнергоиздат, 1959. — 312 с.

24. Мигулин В.В., Выставкин А.Н. Приемники миллиметровых и субмиллиметровых волн // Радиотехника и электроника. — 1967. — Т. XII. — № 11. — С. 1989–2005.

25. Мигулин В.В., Губанков В.Н., Лещенко Г.Ф. и др. Параметрическое преобразование и усиление с использованием сверхпроводящих точечных контактов // Радиотехника и электроника. — 1967. — Т. XV. — № 11. — С. 2404–2407.

26. Мигулин В.В., Губанков В.Н., Кузьмин Л.С. и др. Эффект невырожденной одночастотной параметрической регенерации // Радиотехника и электроника. — 1981. —

Т. 26. — Вып. 8. — С. 1706–1719.

27. Ломоносовская премия выдающемуся ученому-радиофизику и педагогу. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://www.phys.msu.ru/rus/about/sovphys/ISSUES-1999/4\(11\)-1999/11-8/](http://www.phys.msu.ru/rus/about/sovphys/ISSUES-1999/4(11)-1999/11-8/).

28. Кафедра физики колебаний МГУ. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.osc.phys.msu.ru/>.

29. Бункин В.Ф., Денисов Г.Г., Железняков В.В. и др. Андрей Викторович Гапонов-Грехов (к 90-летию со дня рождения) // УФН. — 2016. — Т. 186. — № 6. — 687–688.

30. Андрей Викторович Гапонов-Грехов. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.iapras.ru/staff/Gaponov-Grekhov2.html>.

31. К юбилею академика Российской академии наук, доктора физико-математических наук, профессора А.В. Гапонова-Грехова (специальный выпуск ИПФ РАН). — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.kuriermedia.ru/data/objects/2313/files/90_Gaponov_Grehov.pdf

32. Гапонов А.В., Миллер М.А. О потенциальных ямах для заряженных частиц в высокочастотных полях // ЖЭТФ. — 1958. — Т. 34. — № 2. — С. 242–243.

33. Гапонов А.В., Миллер М.А. Об использовании движущихся высокочастотных потенциальных ям для ускорения заряженных частиц // ЖЭТФ. — 1958. — Т. 34. — С. 751–752.

34. Гапонов А.В. Электромеханические системы со скользящими контактами и динамическая теория электрических машин // Памяти А. А. Андропова. — М.: Изд-во АН СССР, 1955. — С. 196–215.

35. Гапонов-Грехов Андрей Викторович. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://www.nnov.ec/Гапонов-Грехов_Андрей_Викторович.

36. Гапонов А.В., Островский Л.А., Фрейдман Г.И. Ударные электромагнитные волны // Известия вузов. Радиофизика. — 1967. — Т. 10. — № 9–10. — С. 1376–1413.

37. Гапонов-Грехов А.В., Петелин М.И. Мазеры на циклотронном резонансе (в кн. Наука и человечество). — М.: Знание, 1980. — С. 283–290.

38. Братман В.Л., Литвак А.Г., Суворов Е.В. Освоение терагерцевого диапазона: источники и приложения // УФН. — 2011. — N. 181. — № 8. — С. 867–874.

39. Applications of High-Power Microwaves. Artech House / Gaponov-Grekhov A.V.,

Granatstein V.L. (editors). — Boston-London, 1994. — 364 p.

40. Институт прикладной физики РАН. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.iapras.ru/info.html>.

41. Человек будущего: интервью с академиком А.В. Гапоновым-Греховым. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://vestnik.icdc.ru/life/883-chelovek-budushchego-intervyu-s-akademikom-a-v-gaponovym-grekhovym>.

42. Лескова Н.Л. Академик А.В. Гапонов-Грехов: «Наполни смыслом каждое мгновенье...» // В мире науки. — 2016. — № 7. — С. 4–14.

43. Заборонкова Т.М., Булюбаш Б.В. Михаил Адольфович Миллер (в кн. «Исследования по истории физики и механики»). — М.: Наука, 2006. — С. 365–374.

44. Андронов А.А., Болотовский Б.М., Гапонов-Грехов А.В. и др. Памяти Михаила Адольфовича Миллера // УФН. — 2005. — Т. 175. — № 2. — С. 219–220.

45. Михаил Адольфович Миллер (1924–2004). — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.nirfi.unn.ru/personalii/42/231>.

46. Миллер М.А., Таланов В.И. Использование понятия поверхностного импеданса в теории поверхностных электромагнитных полей (обзор) // Известия вузов. Радиофизика. — 1961. — Т. 4. — № 5. — С. 795–830.

47. Gildenburg V.B., Kondrat'ev I.G., Miller M.A. Diffraction of electromagnetic waves by plasma structures // *Electromagnetic Wave Theory*. — Oxford: Pergamon Press, 1967. — Pp. 1025–1028.

48. Болотовский Б.М., Серов А.В. Об особенностях движения заряженных нерелятивистских частиц в переменном поле // УФН. — 1994. — Т. 164. — № 5. — С. 545–547.

49. Михаил Адольфович Миллер. «Из спектров чувств и сгустков дум...». Жизнь. Воспоминания. Творчество / Рос. акад. наук, Ин-т приклад. физики. — Нижний Новгород: ИПФ РАН, 2015. — 448 с.

50. Гильденбург В.Б., Миллер М.А. Сборник задач по электродинамике. Учебное пособие для вузов. — 2-е изд. — Физматлит, 2001. — 163 с.

51. Михаил Львович Левин. Жизнь, воспоминания, творчество / Российская академия наук; Институт прикладной физики; сост.: Н.М. Леонтович; М.А. Миллер. — Н. Новгород: ИПФ РАН, 1995. — 464 с.

52. Миллер М.А. Избранные очерки о зарождении и взрослении радиофизики в

горьковско-нижегородских местах. — Н. Новгород: ИПФ РАН, 1997. — 224 с.

53. Миллер М.А. Мария Тихоновна Грехова. К 100-летию со дня рождения. — Н. Новгород: ИПФ РАН, 2002. — 24 с.

54. Миллер М.А. Всякая и не всякая всячина, посвященная собственному 80-летию. — Н. Новгород: ИПФ РАН, 2005. — 479 с.

55. Хазанов Е.А., Сергеев А.М. Петаваттные лазеры на основе оптических параметрических усилителей: состояние и перспективы // УФН. — 2008. — Т. 178. — № 9. — С. 1006–1011.

56. Наследники Манделъштама. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://expert.ru/expert/2010/34/nasledniki_mandelshtama/.

57. А.А. Костенко. Интервью С.Я. Брауде, ноябрь 1998 г. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://rian.kharkov.ua/library/exposition/braude/>.

58. Шульга С.Н. Радиофизический факультет. История создания, результаты и перспективы // Universitates. Наука и просвещение. — 2012. — № 1. — С. 60–64.

59. Костенко А.А., Носич А.И., Ранюк Ю.Н. Предыстория Института радиопизики и электроники НАН Украины // Science and Science of Science. — 2005. — № 4. — С. 102–135.

60. Ткач В.К. Абрам Александрович Слуцкий (к трехлетию со дня смерти) // Ученые записки Харьковского государственного университета. — 1953. — Т. 59 // Труды физического отделения физико-математического факультета. Т. 4. — С. 17–22.

61. АРАН. Ф. 1622. Оп. 1. № 45. Л. 1–25.

62. Физика в Харькове. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.kharkov.ua/science/physics.htm>.

63. Костенко А.А., Носич А.И. Создание в Харькове первого в Советском Союзе трехкоординатного радиолокатора дециметрового диапазона // Радиофизика и электроника. — 1998. — Т. 3. — № 3. — С. 7–32.

64. Павленко Ю.В., Ранюк Ю.Н., Храмов Ю.А. «Дело» УФТИ. 1935–1938. — Киев: «Феникс» УАННП, 1998. — 324 с.

65. Семен Яковлевич Брауде. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://poltava-arenda.com.ua/read/semen_braude.

66. Басс Ф.Г., Брауде С.Я., Канер Э.А. и др. Флуктуации электромагнитных волн в тропосфере при наличии поверхности раздела // УФН. — 1961. — Т. LXXIII. — Вып. 1.

— С. 89–119.

67. Радиоокеанографические исследования морского волнения (Сб. статей) / Под ред. С.Я. Брауде. — Киев: Изд-во АН УССР, 1962. — 242 с.

68. Басс Ф.Г., Брауде С.Я., Калмыков А.И. и др. Методы радиолокационных исследований морского волнения (радиоокеанография) // УФН. — 1975. — Т. 116. — № 4. — С. 741–743.

69. Институт радиофизики и электроники / Под ред. В.П. Шестопалова. — Киев: Наукова Думка, 1985. — 132 с.

70. Еремка В.Д., Кириченко А.Я., Корниенко Ю.В. и др. А.Я. Усиков — основатель и первый директор института радиофизики и электроники НАН Украины (К 100-летию со дня рождения академика НАН Украины А.Я. Усикова) // The 14th International Crimean Conference Microwave & Telecommunication Technology». — 2004. — С. 26–34.

71. История Института радиофизики и электроники им. А.Я. Усикова НАН Украины. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.ire.kharkov.ua/ru/history.html>.

72. Краткие очерки истории РИ НАНУ. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://rian.kharkov.ua/index.php/ru/history-ru>.

73. Брауде С.Я. Декаметровая радиоастрономия. — Киев: о-во «Знание» УССР, 1984. — 48 с.

74. Кудрявцев В.В., Гольцман Г.Н., Ильин В.А. Радиофизика в истории Московского педагогического государственного университета // История науки и техники. — 2009. — № 9. — С. 10–23.

75. Гольцман Г.Н., Чулкова Г.М. Научная радиофизическая школа Московского государственного педагогического университета // История науки и техники. — 2016. — № 1. — С. 80–89.

76. Гольцман Г.Н., Ильин В.А., Кудрявцев В.В. Радиофизическая научная школа и ее основатель Евгений Михайлович Гершензон (к 80-летию со дня рождения) // История науки и техники. — 2009. — № 9. — С. 10–23.

77. Гершензон Е.М., Малов Н.Н., Мансуров А.Н. и др. Молекулярная физика. Учебное пособие для педагогических вузов. — М.: Академия, 2000. — 272 с.

78. Проблемная радиофизическая лаборатория (ПРФЛ). — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://rplab.ru/index.php?lang=ru>.

79. 40 лет Институту Космических Исследований Российской Академии Наук. Обратный отсчет времени (Сост. сб. А.М. Певзнер). — М.: Издательство ИКИ РАН, 2006. — 272 с.
80. Рытов С.М., Кравцов Ю.А., Горышник Л.Л. Теория параметрических усилителей на полупроводниковых диодах // Научные труды РИАН СССР. — 1960. — Т. 2. — Вып. 3. — С. 3–160.
81. Эткин В.С., Гершензон Е.М. Параметрические системы на полупроводниковых диодах. — М.: Советское радио, 1964. — 352 с.
82. Гершензон Е.М. Субмиллиметровая спектроскопия // СОЖ. — 1998. — № 4. — С. 78–85.
83. Гершензон Е.М. Субмиллиметровая спектроскопия полупроводников // СОЖ. — 1998. — № 5. — С. 110–117.
84. Валентин Семенович Эткин. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://mpgu.su/scientists/etkin-valentin-semenovich/>.
85. Эткин В.С., Ворсин Н.Н., Кравцов Ю.А. и др. Обнаружение критических эффектов при тепловом радиоизлучении неровной водной поверхности // Известия вузов. Радиофизика. 1978. — Т. 21. — № 3. — С. 454–456.
86. Булатов М.Г., Кузьмин А.В., Лаврова О.Ю. и др. Развитие радиофизических методов и средств дистанционных исследований океана. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://d33.infospace.ru/d33_conf/2007_pdf/plenar/Bulatov.pdf.
87. Гершензон В.Е., Ирисов В.Г., Трохимовский Ю.Г. и др. Исследование резонансных эффектов в радиотепловом излучении водной поверхности. // Известия вузов. Радиофизика. — 1986. — Т. 29. — № 4. — С. 379–384.
88. Кузьмин А.В., Репина И.А., Садовский И.Н. и др. Микроволновые радиометрические исследования морской поверхности // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2015. — Т. 12. — № 5. — С. 76–97.
89. Ильин В.А., Ирисов В.Г., Касымов С.С. Лабораторные исследования пространственных спектров радиоизлучения периодически неровной поверхности // Известия РАН. ФАО. — 1996. — Т. 32. — № 2. — С. 183–185.
90. Гольцман Г.Н. Горячие электроны в резистивном состоянии сверхпроводника — новое физическое явление, новая техника в электронике, радиофизике и оптике // СОЖ. — 1996. — № 4. — С. 90–96.

91. Гершензон Е.М., Гершензон М.Е., Гольцман Г.Н., Семенов А.Д., Сергеев А.В. Разогрев квазичастиц в сверхпроводящей пленке, находящейся в резистивном состоянии // Письма в ЖЭТФ. — 1981. — Т. 34. — Вып. 5. — С. 281–285.
92. Гершензон Е.М., Гершензон М.Е., Гольцман Г.Н., Семенов А.Д., Сергеев А.В. Неселективное воздействие электромагнитного излучения на сверхпроводящую пленку в резистивном состоянии // Там же. — 1982. — Т. 36. — Вып. 7. — С. 241–244.
93. Гершензон Е.М., Гершензон М.Е., Гольцман Г.Н., Семенов А.Д., Сергеев А.В. Разогрев электронов в резистивном состоянии сверхпроводника под действием электромагнитного излучения // ЖЭТФ. — 1984. — Т. 86. — Вып. 2. — С. 758–774.
94. Semenov A.D., Gol'tsman G.N., Korneev A.A. Quantum detection by current carrying superconducting film // Physica C. — 2001. — Vol. 351. — Pp. 349–356.
95. Пентин И.В., Смирнов К.В., Вахтомин Ю.Б. и др. Быстродействующий терагерцовый приемник и инфракрасный счетчик одиночных фотонов на эффекте разогрева электронов в сверхпроводниковых тонкопленочных наноструктурах // Труды МФТИ. — 2011. — Т. 3. — № 2. — С. 38–42.
96. Соболевски Р., Веревкин А.А., Гольцман Г.Н. и др. Сверхбыстрые сверхпроводящие однофотонные детекторы и их применение // IEEE Transactions of Applied Superconductivity. — 2003. — Т. 13. — № 2. — С. 1151–1157.
97. Gol'tsman G.N., Okunev O.V, Chulkova G.M. et al. Picosecond superconducting single-photon optical detector // Applied Physics Letters. — 2001. — Vol. 79. — Pp. 705–707.
98. Гольцман Г.Н. Наука в вузах: рецепты выживания и развития // Троицкий вариант. — 2008. — № 6N (818). — С. 6–7.