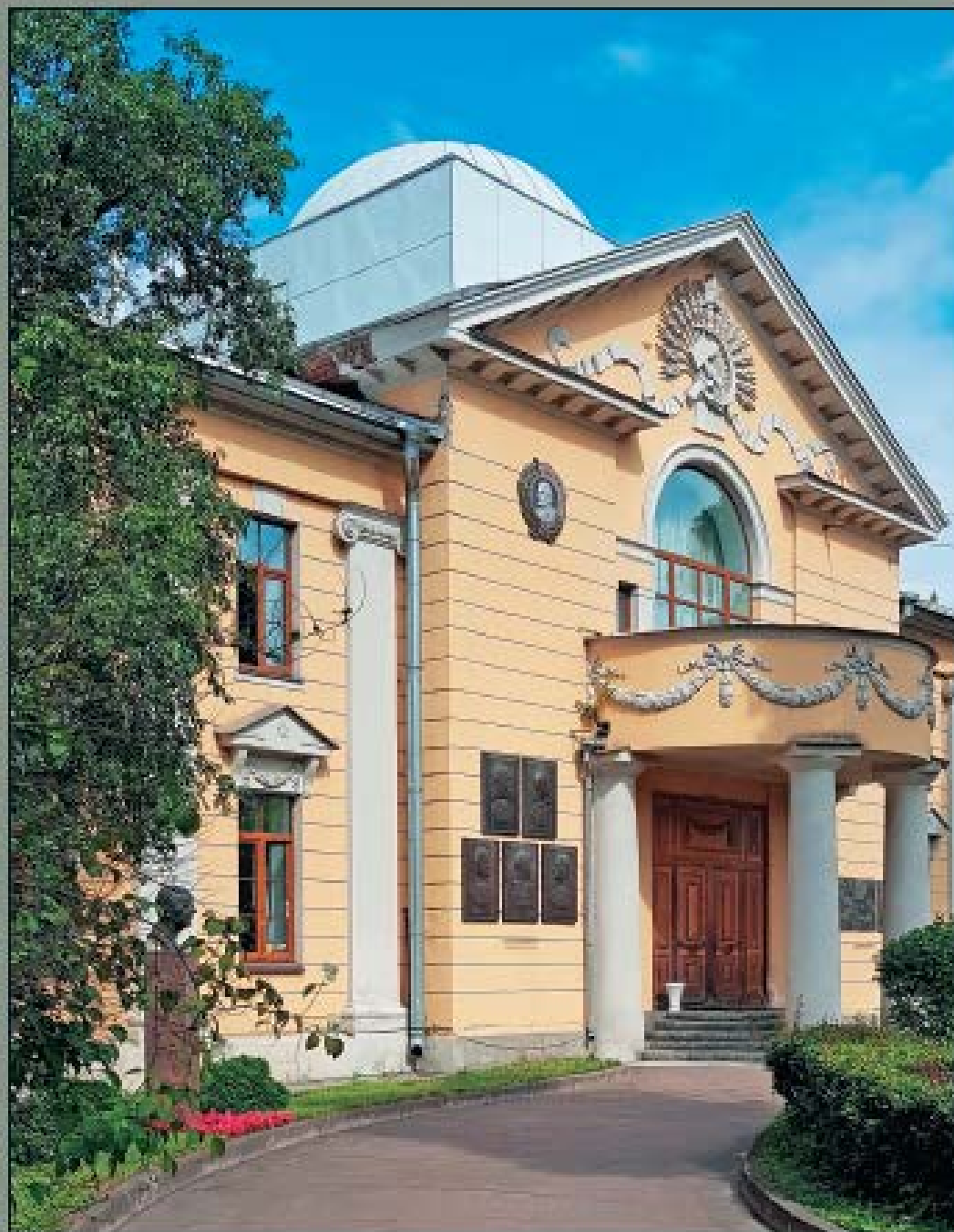


ISSN 0033-874X

# ПРИРОДА

9 18

ПРИРОДА №9 2018





Специальный выпуск

К 100-летию

Физико-технического института имени А. Ф. Иоффе  
Российской академии наук

## В НОМЕРЕ:

- 4** **А. Г. Забродский**  
**Легендарный Физтех:**  
100 лет служения науке и отечеству
- 12** **М. П. Петров, В. И. Афанасьев, Е. Е. Мухин, А. Е. Шехольц**  
**Физтех – Международному термоядерному реактору**
- 22** **А. В. Родина, Д. Р. Яковлев**  
**Спины в полупроводниковых нанокристаллах**
- 32** **Б. Б. Дьяков, В. И. Кузнецов, С. А. Поляев**  
**Технические инновации и газодинамические исследования**
- 41** **М. Я. Амусья**  
**О теоретиках и теориях**
- 50** **Р. Ф. Витман, Е. В. Куницина**  
**Абрам Федорович Иоффе – первый директор Физтеха**

- 60** **А. Г. Забродский**  
**Курчатов и Физтех**

- 72** **Р. Ф. Витман, Е. В. Куницина**  
**Два портрета:**  
**А. А. Чернышёв и П. П. Кобеко**

- 84** **Б. Б. Дьяков, Д. Н. Савельева**  
**Хронология века Физтеха в документах из Архива ФТИ имени А. Ф. Иоффе. Начало**

- 93** **Новости науки**  
Механизмы генерации синглетного кислорода в водном растворе радахлорина. О. С. Васютинский (93). Локализация альфеновских колебаний в плазме токамака ТУМАН-3М. Г. И. Абдуллина, С. В. Лебедев, Л. Г. Аскинази (95). Взаимодействие ударных волн с плазмой газового разряда. И. В. Басаргин, В. А. Сахаров (97). Ридберговские состояния экситонов в полупроводниках. М. М. Глазов, М. А. Семнина (98). Сверхбыстрая динамика электронов и дырок в полупроводниковых нитевидных нанокристаллах. В. Н. Трухин, Н. А. Мустафин (99). Вертикально-излучающие лазеры для оптических систем передачи данных. С. А. Блохин, Н. А. Малеев, М. А. Бобров, А. Г. Кузьменков, А. В. Сахаров, В. М. Устинов (100).

- 102** **Новые книги**

- 103**  
**Столетие советской физики**



# Легендарный Физтех: 100 лет служения науке и отечеству

академик А.Г.Забродский

*Физико-технический институт имени А.Ф.Иоффе РАН (Санкт-Петербург, Россия)*

Многочисленным, окруженным легендами и славой событиям из столетней истории Физико-технического института имени А.Ф.Иоффе, оказавшего огромное влияние на развитие мировой науки и укрепившего индустриальную и военную мощь страны, посвящена обширная литература. Эта краткая заметка призвана объять необъятное и стать гидом по богатой летописи Физтеха, от основания до настоящего времени, а также дать читателю представление о достижениях нескольких поколений его ученых на ключевых этапах истории нашей страны.

**Ключевые слова:** Физико-технический институт имени А.Ф.Иоффе Российской академии наук, ЛФТИ, Физтех, 100-летний юбилей.

Представленная скупая хронология событий являет собой субъективный выбор автора, отражая, тем не менее, его опыт многократного изложения разнообразных фактов из истории Физтеха. Хотелось бы, чтобы читатель испытал гордость за Физтех, за российскую науку, за нашу страну и понял бы, что эти три понятия тесно переплетены и неотделимы друг от друга.



*Андрей Георгиевич Забродский, доктор физико-математических наук, профессор, академик РАН, главный научный сотрудник Физико-технического института имени А.Ф.Иоффе РАН (в 2003–2018 гг. — его директор), лауреат премии Совета Министров СССР в области науки и техники (1983). Область научных интересов: физика и технологии полупроводников, техническая физика.  
e-mail: andrei.zabrodskii@mail.ioffe.ru*

## Начало (1918–1923)

История Физико-технического института имени А.Ф.Иоффе Российской академии наук (Институт, ФТИ, или как принято его называть, Физтех) начинается с Физико-технического отдела Государственного рентгенологического и радиологического института (ГРРИ), созданного в Петрограде 23 сентября 1918 г. решением Наркомпроса по инициативе профессоров Политехнического института М.И.Немёнова и А.Ф.Иоффе\*. До получения своего здания (ныне главное здание ФТИ по адресу ул. Политехническая, д. 26) Физико-технический отдел функционировал в стенах Политехнического института.

\* Соответствующие начальному периоду истории Физтеха документы из его архива приведены в статье Б.Б.Дьякова и Д.Н.Савельевой в этом номере журнала (с.84–92).

В состав ГРРИ входили также Оптический, Радиоактивный (согласно Положению 1919 г.) и Медико-биологический отделы. Уже в 1918 г. Оптический отдел выделяется из ГРРИ с образованием самостоятельного Государственного оптического института. В конце 1921 г. принимается решение о разделении ГРРИ на три самостоятельных института. В их числе руководимый Абрамом Федоровичем Иоффе Физико-технический рентгенологический институт (ГФТРИ), образованный на базе бывшего Физико-технического отдела ГРРИ. Вначале он находится в ведении Наркомпроса.

## Первые пятилетки (1924–1933)

В годы первых пятилеток в ГФТРИ быстро развивается его прикладная часть – Физико-техническая лаборатория (ГФТЛ), подведомственная Выс-

шему совету народного хозяйства и получающая от него финансирование. Ею, как и подчиняющейся Наркомпросу частью, руководит один человек — А.Ф.Иоффе. Этот прикладной Физтех (с 1930 г. он называется Государственным физико-техническим институтом — ГФТИ) во взаимодействии с промышленными предприятиями страны реализует важные для ее индустриализации проекты, поднимает технический уровень производства. А в 1931 г. происходит объединение двух институтов, возглавляемых Иоффе, в один — Физико-технический институт, который в том же году переходит в ведение Наркомата тяжелой промышленности, руководимого «железным» наркомом Серго Орджоникидзе. Вплоть до 1960 г. за Институтом закрепляется название Ленинградский физико-технический институт (ЛФТИ).

Филиалы Института, разбросанные по всей стране, превращаются в уникальное семейство физико-технических институтов СССР в Харькове, Днепропетровске, Свердловске (ныне Екатеринбург), Томске, Самарканде и других городах. В годы коллективизации Институт создает по соседству с собой в Ленинграде Физико-агрономический (ныне Агрофизический) институт, директором которого также становится Иоффе.

В ЛФТИ ведутся передовые исследования в области физики твердого тела, в частности по сегнетоэлектрическим материалам. В области химической физики Н.Н.Семёнов открывает цепные реакции. За это открытие в 1956 г. он будет удостоен Нобелевской премии по химии, а пока принимается решение о создании на базе Физтеха Института химической физики. В 1932 г. Иоффе организует в ЛФТИ группу по исследованию атомного ядра (руководитель группы А.Ф.Иоффе, заместитель И.В.Курчатов). Группа подготавливает и успешно проводит в 1933 г. в Ленинграде Всесоюзную научную конференцию по физике атомного ядра с участием зарубежных ученых. В 1933 г. в ЛФТИ образуется отдел ядерной физики под руководством И.В.Курчатова в составе трех лабораторий\*.

## Предвоенный Физтех

В Институте расширяются исследования в области ядерной физики. В 1936 г. в своем отчете в АН СССР о работе ЛФТИ А.Ф.Иоффе называет ядерную физику «вторым главным направлением» (вслед за физикой твердого тела). Ученые ЛФТИ открывают явление ядерной изомерии, спонтанное деление ядер урана, оценивают критическую для начала цепной реакции массу урана-235. В 1939–1941 гг. ЛФТИ строит циклотрон, который должен был стать самым крупным в Европе. О завершении строительства сообщает газета «Правда» в номере от 22 июня 1941 г.

В 1934 г. ЛФТИ подключается к проблеме создания импульсной радиолокации для обнаружения самолетов и кораблей. Накануне Великой Отечественной войны были разработаны первые радиолокационные станции «Редут» с дальностью обнаружения 150 км. Они сыграли огромную роль в годы войны при обороне Москвы и Ленинграда, давая полчаса их защитникам для приведения в боевую готовность средств ПВО и предельно снизив результативность вражеских бомбардировок.

В 1936–1939 гг. в ЛФТИ под руководством А.П.Александрова, будущего президента АН СССР, для размагничивания кораблей разрабатывается знаменитая «система ЛФТИ», которая позволила в годы

\* О становлении И.В.Курчатова как выдающегося ученого и организатора науки, которое проходило в научной школе академика А.Ф.Иоффе в ЛФТИ, а также о роли ЛФТИ в создании ядерного и термоядерного оружия см. в отдельной статье (с.60–71).



Абрам Федорович Иоффе  
(1880–1960)



Николай Николаевич Семёнов  
(1896–1986)

Великой Отечественной войны эффективно бороться с немецкими магнитными минами.

В 1939 г. в ЛФТИ создается лаборатория для исследования вопросов упрочнения брони (Броневая лаборатория). В этом же году происходит важное для будущего развития ЛФТИ событие, связанное с переходом из ведения Наркомата машиностроения в ведение Академии наук.



## Физтех — фронту (1941–1945)

После начала Великой Отечественной войны половина сотрудников Физтеха вливается в ряды Красной армии и Ленинградского ополчения. 76 человек во главе с Иоффе эвакуируются в Казань, где создается Казанская группа ЛФТИ в количестве 10 лабораторий, которые в целях секретности именовались по своим порядковым номерам. В блокадном Ленинграде остается 103 сотрудника ЛФТИ (Ленинградский филиал ЛФТИ) под руководством П.П.Кобеко, который вошел в историю Физтеха как «Блокадный директор». Вклад в победу ученых ЛФТИ подробно описан в специальных книге и обзоре\*, здесь дадим лишь краткий перечень проведенных работ.

В связи с особой опасностью для нашего Военно-морского флота, исходившей от немецких магнитных мин, создается флотская служба размагничивания. Руководителем ее назначается

\* См.: Дьяков Б.Б. Физико-технический институт в годы Великой Отечественной войны. СПб., 2006; Забродский А.Г. Вклад ученых в Великую Победу на примере ЛФТИ. УФН. 2013; 183: 518–528. Doi:10.3367/UFN. 0183.201305g.0518



Игорь Васильевич Курчатов  
(1903–1960)



Анатолий Петрович Александров  
(1903–1994)

Александров, а костяк составляют 24 сотрудника ЛФТИ, которые были разбиты по флотам и флотилиям на группы и в 1941–1942 гг. во фронтовых условиях проводили размагничивание военных кораблей и обучали флотских офицеров. Ни один из кораблей с действовавшей «системой ЛФТИ» не подорвался на магнитной мине. Для сравнения: флот Великобритании, имевший на вооружении похожую систему, потерял шесть боевых кораблей.

В конце 1941 — начале 1942 г. ученые Ленинградского филиала ЛФТИ выполняют исследования прочностных свойств льда Ладожского озера и тем самым обеспечивают безопасное функционирование ледовой Дороги жизни вплоть до 24 апреля 1942 г., когда толщина льда составляла всего 10 см.

В 1941–1942 гг. в Ленинградском филиале ЛФТИ создается «препарат П» — аналог зарубежного пенициллина. Его применение вдвое снизило смертность от газовой гангрены в блокадном Ленинграде. Под руководством Кобеко на ленинградском заводе «Севкабель» внедряется в производство технология разработанного им полимерного материала эскапон. Из него изготавливали и развозили по всем фронтам электрический кабель, которым заменяли повсеместно выходивший из строя при сильных морозах кабель английского производства на основе полистирола, использовавшийся для автоматического привода зенитных орудий.

В Казанской группе лабораторий ЛФТИ по заказам фронта выполняются работы по упрочнению бензобаков самолетов и танковой брони, разрабатываются передовые для того времени приборы ночного вождения для танков, термоэлектрические генераторы для источников тока в партизанских отрядах и диверсионных группах.

### Физтех и Бомба

Уже накануне войны ученые начинают задумываться о возможности высвобождения огромной энергии на основе цепной ядерной реакции деления изотопов урана. Жестокая война, поставившая



Павел Павлович Кобеко  
(1897–1954)



Яков Борисович Зельдович  
(1914–1987)



Юлий Борисович Харитон  
(1904–1996)



Кирилл Иванович Щёлкин  
(1911–1968)

на карту само существование советского государства, ускоряет события и побуждает ученых Физтеха (Г.Н.Флёрва, Н.Н.Семёнова, А.Ф.Иоффе) обращаться в Правительство СССР с предложениями о возможности создания ядерной бомбы. Одна из таких инициатив материализуется в распоряжении Государственного комитета обороны 28 сентября 1942 г. №2352сс «Об организации работ по урану», обязывающем Академию наук СССР (ответственный — академик А.Ф.Иоффе) «возобновить работы по исследованию осуществимости использования атомной энергии при расщеплении ядра урана», организовать при Академии наук специальную Лабораторию атомного ядра. По рекомендации Иоффе 10 марта 1943 г. начальником этой лаборатории (Лаборатории №2) назначается Курчатов. Месяцем позже была создана и сама Лаборатория из работавших в руководимым им подразделением ЛФТИ до войны сотрудников. Весь 1943 год она функционирует как филиал Физтеха. Для ускорения работ Лаборатории №2 в нее из Ленинграда перевозят оборудование, закупленное до войны для его большого циклотрона. В дальнейшем на плечи Курчатова и руководимого им коллектива легла огромная ответственность за разработку и создание советского ядерного, а затем и термоядерного оружия. Последующее участие ЛФТИ заключалось в разработке технологий разделения изотопов урана и изотопов лития (руководитель государственной программы — Б.П.Константинов, будущий директор ФТИ), наработке плутония для атомной бомбы на запущенном в 1946 г. физтеховском циклотроне и создании детекторов для испытания ядерного оружия. С именем Константинова связано также решение на промышленном уровне важной задачи разделения изотопов лития для производства отечественного термоядерного оружия. Несомненно все же, что главная заслуга ЛФТИ заключалась в создании кадровой основы советского атомного проекта. Все трижды удостоенные звания Героя Социалистического Труда участники (И.В.Курчатов, А.П.Александров, Я.Б.Зельдович, Ю.Б.Харитон, К.И.Щёлкин) атомного проекта работали в разные годы в ЛФТИ.

### Послевоенное время (1950–1957)

В 1950–1957 гг. Институтом руководит Антон Пантелеймонович Комар.

Создание транзистора стимулирует во всем мире интенсивные исследования в области физики и технологии полупроводниковых материалов. Надо сказать, что еще в 1938 г. в ЛФТИ



Антон Пантелеймонович Комар  
(1904–1985)



Юрий Александрович Дунаев  
(1914–1974)



Борис Павлович Константинов  
(1910–1969)



Георгий Антонович Гамов  
(1904–1968)

впервые в мире были созданы солнечные элементы с КПД 1%, что позволило Иоффе выступить в газете с «Программой солнечных крыш». В начале 1950-х в ЛФТИ были открыты полупроводники  $A^3B^5$  на основе соединенных элементов третьей и пятой групп таблицы Менделеева, на которых основана вся современная оптоэлектроника. В те же годы ученые Физтеха разработали один из первых отечественных транзисторов. Был обнаружен экситон, который представляет собой рожденную квантом света электронно-дырочную пару. Это открытие положило начало экситонной физике полупроводников.

В 1952 г. Иоффе уходит из ЛФТИ и создает академическую лабораторию полупроводников, которая в 1954 г. превращается в Институт полупроводников Академии наук (ИПАН).

В 1953 г. генеральный конструктор советских ракет С.П.Королев подключает ЛФТИ к проблеме устойчивости и тепловой защиты головных частей баллистических ракет и спускаемых космических аппаратов. Для ее решения под руководством Ю.А.Дунаева создается уникальный комплекс ударных труб для газоди-

намических исследований, разрабатывается оптимальная («тупая») форма головной части и технология ее тепловой защиты («обмазка Дунаева»), которая использовалась при первых полетах советских космонавтов.

В середине 50-х годов под руководством академика АН УССР А.П.Комара Физтех начинает создавать свой ядерно-физический филиал в г. Гатчине Ленинградской обл., первоначально в составе двух научно-исследовательских комплексов на базе исследовательского ядерного реактора и синхроциклотрона.

### Новые направления 1957–1967 годов

В 1957–1967 гг. Физтехом (с 1960 г. в названии Института появляется имя его первого директора А.Ф.Иоффе) руководит Борис Павлович Константинов.

Он сразу же создает в ФТИ астрофизический отдел. Выдающим представителем этого направления в довоенном ЛФТИ был Г.А.Гамов. В 1966–1967 гг. физтеховские астрофизики экспериментально опровергают господствовавшую в мире гипотезу о пылевом облаке Земли, которое могло бы представлять существенную опасность для полетов человека в космос. В эти годы они активно участвуют в разработке и реализации программы по исследованию лунного грунта и в других космических проектах.

Академик Константинов инициирует также разворачивание в Физтехе работ в области голографии и термоядерных исследований с помощью токамаков.

### Расширение фронта работ в 1970–1980-е годы

В 1967–1987 гг. Институтом руководит Владимир Максимович Тучкевич.

В 1971 г. принимается решение о выделении из Физтеха его Гатчинского филиала в самостоятельный институт (Ленинградский институт ядерной физики, ЛИЯФ) и о присоединении к ФТИ Института





Владимир Максимович Тучкевич  
(1904–1997)



Жорес Иванович Алфёров  
(род. 1930)



Виктор Евгеньевич Голант  
(1928–2008)

полупроводников (ИПАН). Это завершает начавшийся в 1932 г. плодотворный период развития ядерно-физического направления ФТИ и усиливает и без того достаточно мощное его полупроводниковое направление. Физтех превращается в ведущий мировой центр по исследованию физики полупроводников (кристаллических, жидких, стеклообразных и аморфных) и по разработкам технологий новых полупроводниковых материалов, структур и приборов.

Под руководством академика Тучкевича при участии Министерства электротехнической промышленности в СССР создается силовая полупроводниковая электроника.

В секторе Ж.И.Алфёрова начинают интенсивно развиваться технологии полупроводниковых гетероструктур на основе материалов  $A^3B^5$  и их твердых растворов, которые тут же находят широкое применение в оптоэлектронике: при создании полупроводниковых лазеров, светодиодов и фотоэлектрических преобразователей для космических солнечных батарей.

В первой половине 70-х в Институте интенсивно строятся новые лабораторные корпуса, увеличивается количество лабораторий. В 80-е годы численность штата достигает 2800 человек.

## Трудные 1990-е

В 1987–2003 гг. Институтом руководит Жорес Иванович Алфёров.

Академик Алфёров вводит новую структуру управления научными исследованиями. Образуются крупные научные единицы — отделения (физики плазмы, атомной физики и астрофизики, физики диэлектриков и полупроводников, физики твердого тела, твердотельной электроники) и Центр физики наногетероструктур, функционирующей на праве отделения. Каждое из отделений состоит примерно из 15 лабораторий.

В годы реформ в начале 1990-х финансирование науки в стране, в том числе ФТИ, уменьшается более чем в 20 раз и состоит в основном из одной лишь зарплаты работников.

Несмотря на это, в Институте продолжает интенсивно развиваться направление физики и технологии наногетероструктур, воз-

никает его инфраструктурная база в виде специализированного Лабораторно-технологического корпуса. Результаты исследований по этому направлению получают широкое международное признание — Алфёров удостоивается в 2000 г. Нобелевской премии по физике.

В середине 90-х в институте под руководством академика В.Е.Голанта зарождается новое для отечественной термоядерной физики направление сферических токамаков. В 1998 г. запускается сферический токамак «Глобус-М», который быстро входит в тройку ведущих сферических токамаков мира. Серьезных успехов достигают астрофизики ФТИ в области исследования нейтронных звезд, рентгеновского и гамма-излучения Вселенной.

В конце 1990-х новый импульс развития получает широко известная образовательная система ФТИ. В первой половине XX в. ее олицетворял открытый по инициативе Иоффе в 1919 г. физико-механический факультет Политехнического института, отделенного от ФТИ лишь Политехнической улицей. Это было удобно и для физтеховских ученых, которые вели преподава-

тельную работу, и для студентов, которые в большом количестве появлялись в лабораториях Физтеха начиная с 3-го курса. По сути, это был первый в мире базовый факультет научно-исследовательского института в вузе. Во второй половине XX в. физико-механический факультет постепенно утратил свое значение для ФТИ. В 1987 г. на основе базовых кафедр ФТИ в Политехническом институте был образован физико-технический факультет, к которому перешла роль базового для ФТИ. В конце 1990-х ФТИ завершает строительство своего Научно-образовательного центра, который стал работать на правах шестого отделения Института. В нем под одной крышей разместились его базовая Физико-техническая школа и базовые кафедры ведущих технических университетов Санкт-Петербурга, на которых учились студенты старших курсов. Свои дипломные работы они делали в лабораториях ФТИ, после чего многие из них поступали в его аспирантуру. В 2003 г. руководимый Алфёровым Научно-образовательный центр ФТИ превращается в самостоятельное учреждение — Академический физико-технологический университет РАН (ныне — ФГБУ высшего образования и науки «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет Российской академии наук»).

### Физтех накануне столетия

В 2003–2018 гг. Физтехом имеет честь руководить автор этих строк.

Институт продолжает развивать исследования в традиционных для себя направлениях. Так, в области силовой полупроводниковой электроники исследования, которые ведутся под руководством академика И.В.Грехова, смещаются в сферу силовой импульсной микроэлектроники на основе кремния и карбида кремния. Внедряются в промышлен-



Игорь Всеволодович Грехов  
(род. 1934)



Борис Петрович Захарченя  
(1928–2005)

ное производство технологии каскадных космических солнечных батарей на основе гетероструктур материалов  $A^3B^5$  с повышенными КПД, радиационным ресурсом и сроком службы. На космических аппаратах ведутся исследования мощных источников повторяющихся всплесков гамма-излучения во Вселенной, так называемых гамма-репитеров.

ФТИ подключается к долгосрочному проекту сооружения Международного термоядерного реактора ITER в г.Кадараш (Франция): разрабатывает для него три диагностических системы для контроля состава термоядерного топлива и потоков тепла на элементы конструкции реактора, а также для исследования продуктов термоядерных реакций. В преддверии своего столетия Институт завершает работы по модернизации сферического токамака, направленные на кратное увеличение потока нейтронов (в качестве перспективной задачи имеется в виду проектирование и сооружение прототипа квазистационарного источника нейтронов на основе компактного токамака с целью ускорения внедрения термоядерных технологий и повышения безопасности атомной энергетики).

Под руководством академика Б.П.Захарчени в Институте оформилась и развивается новая область работ — спинтроника, использующая факт наличия у электрона собственного момента спина, в которой ученые ФТИ заняли лидирующее положение в стране.

В последние годы по инициативе автора в Институте рождается еще одно новое направление исследований, в которое вовлечены ученые разных лабораторий и даже институтов и которое можно условно назвать «физика — наукам о жизни».

В начале XXI в. страна столкнулась с серьезными вызовами, чем-то напоминающими те, что возникли 80 лет назад, в годы первых пятилеток: это проблема реиндустриализации, необходимость повышения конкурентоспособности российских товаров, задача импортозамещения, укрепление обороноспособности. Используя ранее накопленный опыт и существующие научные школы, Физтех предпринял значительные усилия в направлении укрепления и развития своей сферы НИОКР, связей с крупной промышленностью и государственными заказчиками в лице госкорпораций (Росатом,

Роскосмос, Роснано), в том числе в интересах военно-промышленного комплекса.

На базе ФТИ в 2012 г. открыт Научно-технический центр тонкопленочных технологий ООО «Хевел», крупнейшего в России производителя кремниевых солнечных модулей, для разработки их промышленных технологий. В партнерстве с ООО «Хевел», на базе разработанных НТЦ технологий и выпускаемой заводом «Хевел» промышленной продукции осуществляется массовое проектирование и строительство солнечных электростанций в регионах России, создается новая подотрасль отечественной энергетики — солнечная энергетика. Серьезные задачи в области энергоэффективности и энергосбережения стимулировали развитие в Институте направления разработок литий-ионных аккумуляторов с высокой удельной мощностью.

С целью кратного увеличения результативности деятельности в сфере НИОКР по ряду приоритетных направлений науки и технологии Российской Федерации, повышения эффективности трансфера разработок в промышленное производство и обеспечения импортозамещения, ФТИ с 2013 г. реализует масштабный инвестиционный проект по созданию НИОКР-центра. Он будет обладать комплексом современных технологических зон для эффективного проведения исследований и разработок в областях новых функциональных наноматериалов и устройств на их основе, оптоэлектроники и электроники, энергоэффективности и энергосбережения.

Сегодняшний Физтех представляет собой один из ведущих научно-исследовательских центров мира, в котором работает более 2 тыс. сотрудни-



Модернизированный сферический токамак «Глобус-М2» — пусковой объект к 100-летию ФТИ.

ков (среди них 18 членов РАН, около 240 докторов и 560 кандидатов наук).

\* \* \*

Научная школа Иоффе стала alma mater для выдающихся российских физиков: Н.Н.Семёнова, П.Л.Капицы, Г.А.Гамова, Л.Д.Ландау, А.П.Александрова, Я.Б.Зельдовича, И.В.Курчатова, Ю.Б.Харитона и многих-многих других.

Ленинградским Физтехом по всей стране создано большое семейство физико-технических институтов.

На протяжении своей столетней истории Физико-технический институт оказал и продолжает оказывать огромное влияние на развитие отечественной и мировой науки, промышленности и обороноспособности страны. ■

## Legendary Ioffe Institute: 100 Years of Service to Science and Homeland

A.G.Zabrodskii

*Ioffe Physical-Technical Institute, RAS (Saint Petersburg, Russia)*

A range of literature sources is devoted to the numerous, steeped by legends and glory events of the century-long history of the Ioffe Physical-Technical Institute (for short, Ioffe Institute), which had a great impact on the development of world science and strengthening of the industrial power and performance capacity of our country. This brief essay is intended to seize the unseizable and to become a guide over the whole history of Ioffe Institute, from foundation to present time, and provide the reader with insight into the grandiosity of what has been done by several generations of its scientists on the background of milestone events in the history of our country.

**Keywords:** Ioffe Physical-Technical Institute of Russian Academy of Sciences, Leningrad Physicotechnical Institute, Ioffe Institute, 100th anniversary.



# Физтех — Международному термоядерному реактору

М.П.Петров<sup>1</sup>, В.И.Афанасьев<sup>1</sup>, Е.Е.Мухин<sup>1</sup>, А.Е.Шевелёв<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Физико-технический институт имени А.Ф.Иоффе РАН (Санкт-Петербург, Россия)

В ФТИ имени А.Ф.Иоффе в счет международных обязательств России создаются три диагностических системы для измерения основных параметров плазмы и для контроля режима Международного термоядерного реактора ИТЭР, сооружаемого в настоящее время во Франции. Это система измерения потока атомов из плазмы с целью контроля изотопного соотношения термоядерного топлива D/T, система томсоновского рассеяния света лазера на электронах плазмы в диверторе с целью контроля энергонагрузки дивертора и защиты реактора от аварий, а также система измерения сплошного и линейчатого спектров гамма-излучения плазмы. Сплошной спектр используется для контроля развития интенсивности пучка убегающих электронов с целью защиты реактора от аварий. Линейчатый спектр гамма-излучения позволяет определять время удержания быстрых ионов в плазме реактора.

**Ключевые слова:** Термоядерный реактор ИТЭР, атомные анализаторы, томсоновское рассеяние, гамма-спектрометрия.

Создание термоядерной энергетики по-прежнему актуально: ресурсы для нее неиссякаемы, и вдобавок она экологична. В качестве прототипов будущих термоядерных реакторов лучше всего разработаны установки типа токамак. Принципиальная возможность получения в токамаках управляемой термоядерной реакции слияния ядер дейтерия и трития с выходом мощности порядка 10–20 МВт, практически сравнимой с вкладываемой в плазму мощностью, была успешно продемонстрирована на больших токамаках TFTR (США) и JET (Великобритания) в конце прошлого века. Сооружаемый в настоящее время во Франции Международный термоядерный экспериментальный реактор ИТЭР\* (ITER — International Thermonuclear Experimental Reactor) представляет собой следующий, решающий, шаг на пути к термоядерной энергетике. Установка с ожидаемым положительным выходом мощности порядка 500 МВт предназначена для испытания основных элементов промышленной термоядерной электростанции.

около 40 м. Внутри располагается тороидальная плазменная камера с D-образным сечением, окруженная сверхпроводящими катушками тороидального магнитного поля. Катушки охлаждаются жидким гелием. Вся эта система погружена в криостат, охлаждаемый азотом, и окружена биологической защитой от нейтронного и гамма-излучений.

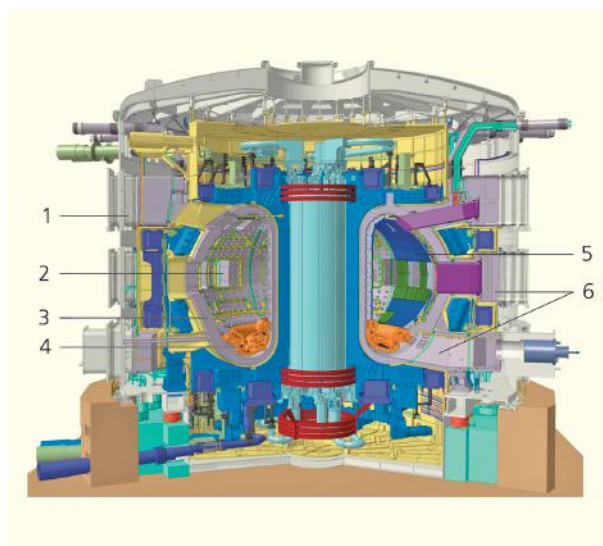


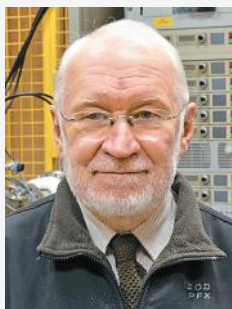
Рис.1. Общий вид реактора ИТЭР: 1 — криостат; 2 — плазменная камера; 3 — сверхпроводящие катушки магнитного поля; 4 — дивертор; 5 — бланкет для поглощения нейтронов и воспроизводства трития; 6 — «порты» для доступа в плазму диагностических систем и систем нагрева.

## Невиданный размах

Общий вид реактора ИТЭР показан на рис.1. Это внушительное сооружение, представляющее собой что-то вроде круглой башни высотой и диаметром

\* ITER Technical Basis. Chapter 4. P.11 ([www.iter.org/pdfs/PDD4.pdf](http://www.iter.org/pdfs/PDD4.pdf)).

© Петров М.П., Афанасьев В.И., Мухин Е.Е., Шевелёв А.Е., 2018



**Михаил Петрович Петров**, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник Физико-технического института имени А.Ф.Иоффе, руководитель работ по тематике Международного термоядерного реактора ИТЭР в этом институте. Область научных интересов — диагностика плазмы, управляемый термоядерный синтез.  
e-mail: mpetrov@npd.ioffe.ru



**Валерий Иванович Афанасьев**, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией процессов атомных столкновений того же института, руководитель работ по анализу потока атомов, испускаемых плазмой на ИТЭР. Занимается диагностикой плазмы по данным о потоках атомов.



**Евгений Евгеньевич Мухин**, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории физики высокотемпературной плазмы того же института, руководитель работ по томографическому рассеянию в диверторе ИТЭР. Специалист в области лазерной диагностики плазмы и физики дивертора термоядерных установок.



**Александр Евгеньевич Шевелёв**, научный сотрудник лаборатории Циклотронной лаборатории, руководитель работ по регистрации гамма-излучения на ИТЭР. Специалист в области диагностики плазмы на основе данных о гамма-излучении.

Проект ИТЭР, несомненно, уникален в истории мировой науки и техники. По многим основным критериям это самое сложное научно-техническое сооружение за все время развития человечества. Ученые и инженеры создают внушительный комплекс, включающий в себя многометровые сверхпроводящие катушки магнитного поля, вакуумную камеру, изготавливаемую из уникальных материалов, которые выдерживают колоссальные механические напряжения и могут работать в условиях интенсивного нейтронного облучения.

Кроме того, строятся системы дополнительного нагрева плазмы — инжекторы пучков атомов водорода и электромагнитного излучения мощностью в десятки мегаваттов, разрабатываются системы управления плазмой, находящейся в состоянии длительного термоядерного горения, системы сбора и утилизации трития и многие другие технологии, прежде никогда не создававшиеся.

Наряду с рекордной научно-технической сложностью ИТЭР отличает и крупнейший масштаб международного сотрудничества. В гигантской стройке, которая ведется уже более 10 лет, принимают участие семь сторон — Евросоюз, Индия, КНР, Южная Корея, Россия, США, Япония, — объединяющих более половины населения Земли и производящих примерно 80% мирового ВВП. Это обстоятельство свидетельствует о том, что мировая общественность не теряет веры в достижение цели проекта и полна решимости осуществить его.

Еще один рекордный показатель ИТЭР — его стоимость (около 20 млрд евро в настоящий момент). Она существенно превосходит затраты таких крупных международных проектов, как Большой адронный коллайдер, Европейский рентгеновский лазер на свободных электронах, Международная космическая станция. Свообразие этого проекта заключается и в том, что его финансирование осуществляется государствами-партнерами не деньгами, а, так сказать, натурой. Партнеры в счет своих обязательств поставляют на стройплощадку

элементы реактора и отдельные его системы для дальнейшей совместной сборки. Сейчас уже ясно, что такой способ строительства вызывает большие сложности, задержки, нарушение сроков проведения работ. Наверное, лучше было бы организовать международный консорциум по строительству реактора и финансировать его на долевой основе. Но участники предпочли путь поставок на стройплощадку во Францию изготовленного каждым из них оборудования. Основной аргумент в пользу такого подхода — прямой доступ



для сторон к коллективному ноу-хау в процессе эксплуатации ИТЭР с тем, чтобы каждый из них впоследствии мог приступить к эффективному созданию собственной термоядерной энергетики.

Пожалуй, самыми инновационными элементами в проекте ИТЭР представляются диагностические системы, предназначенные для контроля основных параметров режима работы реактора и защиты его от аварий. Всего в этот приоритетный список были включены около десятка диагностических систем (из более 40 систем, создающихся для ИТЭР). Перед учеными и инженерами была поставлена задача — разработать системы диагностики термоядерной плазмы нового поколения, имеющие принципиальные отличия от своих современных аналогов, и способные обеспечить высокую надежность работы в экстремальных условиях интенсивного радиационного фона, присутствия радиоактивного трития, наличия сильных рассеянных магнитных полей, высокой температуры, вибраций и т.д.

Надо отметить, что в нашей стране, одной из первых развернувшей в середине XX в. работы в области получения управляемого термоядерного синтеза, разработка и применение методов диагностики горячей плазмы осуществлялись на очень высоком уровне, во многих случаях определяющем и даже превышающем мировой. Особую роль в развитии диагностики плазмы у нас в стране играл именно Физико-технический институт имени А.Ф.Иоффе. Вот почему нам было поручено в счет международных обязательств России создать и поставить на ИТЭР три приоритетных диагностических системы — систему, основанную на анализе потоков атомов, которые испускаются плазмой; систему, использующую томсоновское рассеяние света лазера в диверторе (дивертор — наиболее энергонапряженный элемент ИТЭР); систему, основанную на анализе потоков гамма-квантов из плазмы, которые возникают в процессах ядерных реакций.

### Атомы ставят диагноз плазме

Плазма в термоядерном реакторе ИТЭР будет состоять в основном из ионов изотопов водорода (дейтерия и трития), ионов гелия — продуктов термоядерных реакций синтеза дейтерия и трития, ионов примесей материалов стенок (в первой фазе работы ИТЭР это в основном бериллий, которым будет покрыта первая стенка камеры реактора) и электронов. Температура ионов и электронов будет достигать величины порядка 20 кэВ, а их плотность —  $10^{14}$  см<sup>-3</sup>. Плазма с такими параметрами окажется практически полностью ионизованной. Однако в любой, даже очень горячей и плотной плазме идут нейтрализационные процессы, которые превращают ионы в нейтральные частицы — атомы. Эти атомы могут беспрепятст-

венно покидать плазму, поскольку на них не действуют магнитные и электрические поля, ее удерживающие. Измерение таких потоков атомов и анализ их по массе и энергии позволяет получить очень важную информацию о самой плазменной среде и о процессах, которые протекают внутри нее.

На возможность существования таких потоков атомов, выходящих из плазмы, ученые обратили внимание еще в самом начале развития термоядерных исследований в нашей стране [1], а в 1958 г. академик Б.П.Константинов предложил использовать это атомарное излучение для диагностики плазмы. В результате в ФТИ был создан первый в мире так называемый атомный анализатор — прибор, способный измерять выходящие из плазмы потоки атомов. В этом приборе входящий поток атомов ионизовался при пролете через газовую мишень, а образовавшиеся в результате вторичные ионы подвергались анализу по энергии и массе в магнитном и электрическом полях и регистрировались детекторами [2]. Тем самым на выходе атомного анализатора получались энергетические распределения атомов — изотопов водорода определенной массы. Впоследствии атомные анализаторы разных типов, созданные в ФТИ, успешно применялись в экспериментах на многих советских токамаках для измерения ионной температуры основного ионного компонента плазмы [3]. В последние десятилетия прошлого века такая аппаратура была поставлена из ФТИ в ведущие мировые центры термоядерных исследований в Германии, Великобритании, США, Японии и др., где с успехом продолжает применяться до сих пор при участии сотрудников нашего института [4].

Сегодня в ФТИ активно ведутся работы по созданию целого диагностического комплекса атомных анализаторов для токамака-реактора ИТЭР, где перед диагностикой поставлена одна из важнейших задач — измерение и контроль изотопного отношения термоядерного топлива (отношения концентраций дейтерия и трития). Дело в том, что в реакторе необходимо поддерживать это отношение вблизи значения, равного 1, чтобы обеспечить наиболее эффективное термоядерное горение. При решении этой задачи незаменимой оказывается диагностика, основанная на использовании атомных анализаторов.

Основными процессами, приводящими к нейтрализации горячих ионов в плазме ИТЭР, будут перезарядка и радиационная рекомбинация. Первый процесс наиболее существенную роль играет в приграничных областях плазмы, где перезарядка энергичных ионов плазмы происходит на «холодных» атомах, поступающих в плазму со стенок установки. Второй процесс доминирует в центральной зоне — в зоне термоядерного горения, где быстрые ионы рекомбинируют на электронах плазмы. Оба процесса приводят к образованию потоков атомов основных ионных компонентов

плазмы — дейтерия и трития. Важно отметить, что в процессах нейтрализации ионы плазмы, превращаясь в атомы, практически не меняют свою энергию. На этом, в частности, основано применение атомных анализаторов для измерения ионной температуры. Но для ИТЭР особенно важно другое обстоятельство. Дело в том, что выходящие из плазмы потоки атомов каждого изотопа водорода напрямую связаны с концентрацией соответствующих ионов в плазме. Иными словами, измеряя отношение потоков атомов дейтерия и трития, мы получаем информацию об отношении концентраций ионов дейтерия и трития внутри плазмы.

Общий вид диагностического комплекса атомных анализаторов, предназначенный для измерения потоков атомов дейтерия и трития на ИТЭР, показан на рис.2. Система состоит из двух приборов, регистрирующих атомы [5]. Первый по расположению к камере ИТЭР — анализатор HENPA (High Energy Neutral Particle Analyzer) — предназначен для регистрации атомов в диапазоне высоких энергий: 0.1–4 МэВ. За ним установлен анализатор LENPA (Low Energy Neutral Particle Analyzer), работающий в диапазоне энергий 10–200 кэВ. Линии наблюдения обоих приборов проходят через общий трубопровод, но смещены относительно друг друга на 50 мм с тем, чтобы анализатор HENPA не перекрывал обзор анализатору LENPA. Поэтому они могут регистрировать потоки атомов одновременно, не создавая помех друг другу. Кроме того, для защиты анализаторов от воздействия рассеянного магнитного поля вокруг установки ИТЭР приборы помещены в двуслойные магнитные экраны (боковые стенки магнитных экранов на рисунке не показаны). Весь трубопровод окружен нейтронной защитой, которая изготовлена из нержавеющей стали и карбида бора и экранирует от нейтронного излучения, вызывающего активацию элементов диагностики и конструкций, расположенных снаружи трубопровода. Весь комплекс оборудования смонтирован на транспортных диагностических платформах, с помощью кото-

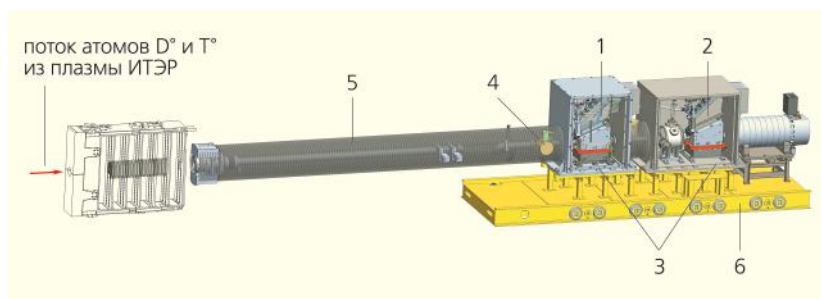


Рис.2. Диагностический комплекс «Анализаторы атомов перезарядки» на ИТЭР: 1 — анализатор атомов HENPA; 2 — анализатор атомов LENPA; 3 — магнитные экраны анализаторов; 4 — вакуумный трубопровод; 5 — нейтронная защита; 6 — транспортные диагностические платформы.

рых он в собранном виде доставляется в диагностический зал.

Основные элементы тандема анализаторов HENPA и LENPA показаны на рис.3. Оба представляют собой масс-спектрометрические приборы, построенные по одинаковой схеме. Ионизация входящего потока атомов в них осуществляется при проходе атомов сквозь тонкие углеродные пленки толщиной около 100 Å, а анализ вторичных ионов по энергии и массе — в параллельных друг другу магнитном и электрическом полях, создаваемых анализирующими электромагнитами и анализирующими электростатическими конденсаторами.

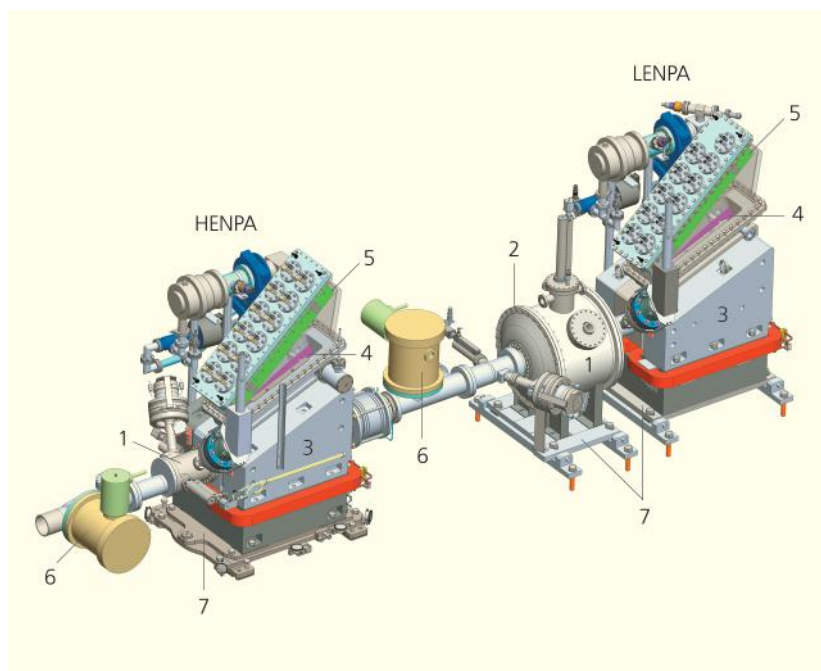


Рис.3. Основные элементы анализаторов HENPA и LENPA: 1 — места расположения тонких углеродных пленок; 2 — ускоритель анализатора LENPA; 3 — анализирующие электромагниты; 4 — анализирующие электростатические конденсаторы; 5 — детекторные системы; 6 — калибровочные источники ионов гелия; 7 — системы поддержки и юстировки.

В LENPA также используется специальный ускорительный модуль на напряжение до +100 кВ для увеличения энергии вторичных ионов с целью улучшения условий их регистрации при наличии большого нейтронного и гамма-фона. Регистрация ионов водорода, дейтерия и трития осуществляется одновременно многоканальными детекторными системами. Детекторами служат специально разработанные сцинтилляционные счетчики с очень тонкими (1–20 мкм) сцинтилляторами CsI(Tl), имеющими практически 100-процентную эффективность регистрации для ионов и очень низкую чувствительность к нейтронному и гамма-излучению ( $\sim 10^{-7}$ ). В комплексе также предусмотрено использование источников ионов гелия, предназначенных для проверки работоспособности всех узлов анализаторов. Системы механической поддержки обеспечивают точную установку и юстировку приборов на реакторе.

Важно отметить, что проблема измерения изотопного отношения в наиболее важной — центральной области плазмы ИТЭР связана с ограниченной прозрачностью плазмы для выходящих потоков атомов дейтерия и трития. Прозрачность определяется вероятностью ионизации атомов электронами, которая может существенно ослабить выходящий из плазмы поток атомов. Только для частиц с энергией более 1 МэВ плазма ИТЭР имеет приемлемую прозрачность ( $\geq 0.5$ ). К счастью для экспериментаторов, такая популяция ионов мегаэлектронвольтовых энергий в термоядерной плазме будет существовать. Энергичные ионы дейтерия и трития появляются в плазме в упругих столкновениях «тепловых» ионов дейтерия и трития с термоядерными альфа-частицами, возникающими при протекании реакции синтеза дейтерия и трития:



В этих столкновениях сравнительно медленные ионы дейтерия и трития приобретают энергию порядка и выше 1 МэВ. Такие ионы получили

название «ионы отдачи» (англ. название «knock-on»). Анализ показывает, что потоки нейтрализованных дейтериевых и тритиевых ионов отдачи, выходящих из центральной зоны плазмы ИТЭР, оказываются достаточными для того, чтобы их можно было зарегистрировать и использовать для определения изотопного отношения термоядерного топлива с нужной точностью [6].

На рис.4,а представлены расчетные энергетические спектры потоков атомов дейтерия D и трития T мегаэлектронвольтового диапазона энергии, образовавшихся в результате нейтрализации ионов отдачи, для случая равнокомпонентной изотопной смеси в плазме ИТЭР и выделения термоядерной мощности 500 МВт. Рисунок 4,б показывает энергетическую зависимость соответствующих скоростей счета  $D_{\text{knock-on}}$  и  $T_{\text{knock-on}}$ , которые ожидается зарегистрировать анализатором HENPA.

Из рис.4,б видно, что скорости счета атомов в мегаэлектронвольтовом диапазоне энергий составляют  $10^3$ – $10^4 \text{ с}^{-1}$  и значительно превышают фоновый сигнал «n,γ-шум», создаваемый нейтронным и гамма-излучениями. Такая статистика с запасом обеспечивает необходимую 10-процентную точность определения изотопного отношения в центре плазмы ИТЭР при требуемом временном разрешении 100 мс.

Результаты расчетов потоков атомов дейтерия и трития «теплого» диапазона с энергиями до 200 кэВ, которые будут регистрироваться другим прибором — анализатором LENPA, демонстрирует рис.5,а. Сплошными линиями здесь показана энергетическая зависимость скоростей счета тепловых атомов дейтерия  $D_{\text{th}}$  и трития  $T_{\text{th}}$ , штрихпунктирными — низкоэнергетические части спектров ионов отдачи  $D_{\text{knock-on}}$  и  $T_{\text{knock-on}}$ , попадающие в диапазон измерений анализатора LENPA. Видно, что в области энергий  $\leq 100 \text{ кэВ}$  обеспечивается приемлемый уровень сигнала  $\geq 10^3$ – $10^4 \text{ с}^{-1}$ , который значительно превышает фон. На рис.5,б показаны пространственные области плазмы вдоль

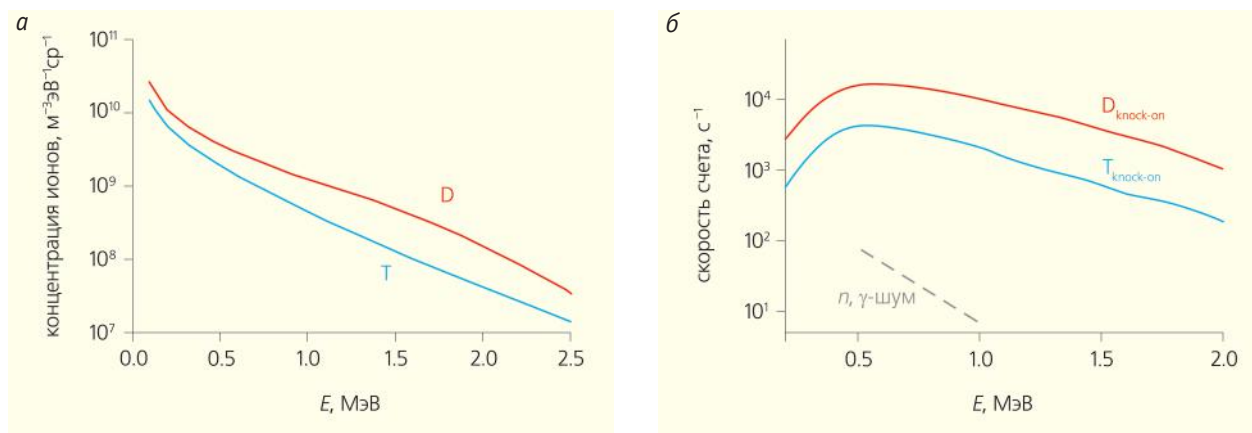


Рис.4. Энергетические спектры атомов дейтерия и трития, образовавшихся в результате нейтрализации «ионов отдачи» (а) и скорости счета атомов дейтерия и трития в анализаторе HENPA (б).

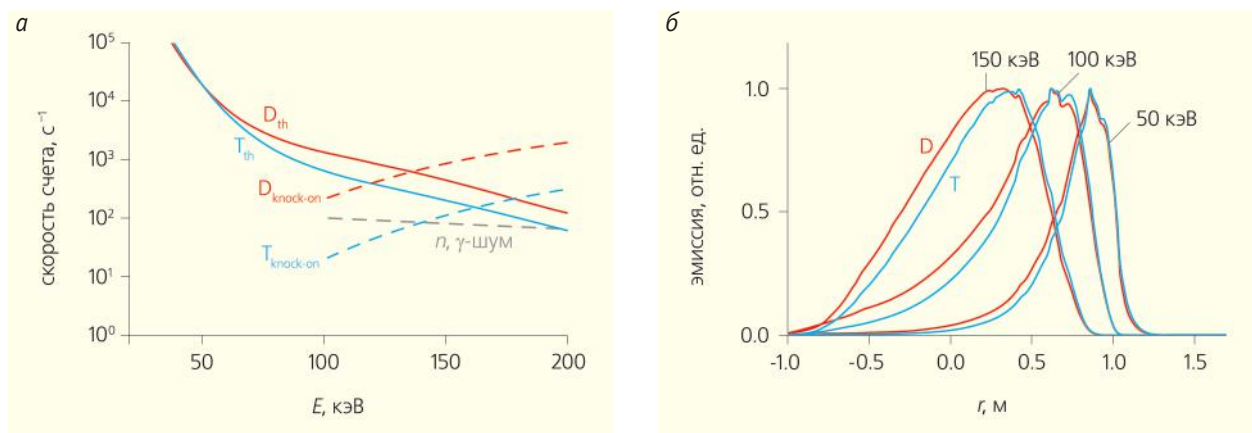


Рис.5. Энергетические спектры атомов дейтерия и трития для диапазона энергии  $\leq 200$  кэВ (а) и области плазмы, откуда выходят атомы с энергиями 50, 100 и 150 кэВ (б).

малого радиуса тороидальной плазмы  $r$ , откуда атомы дейтерия и трития с учетом прозрачности плазмы могут попасть в анализатор. Видно, что атомы дейтерия и трития тепловых энергий будут преимущественно выходить из периферийных областей плазмы и, соответственно, этот диапазон энергии может быть использован для определения изотопного отношения в этих областях.

В настоящее время заканчиваются многочисленные испытания (радиационные, магнитные, температурные, вибрационные и др.) макетов всех критических элементов диагностического комплекса атомных анализаторов для ИТЭР в соответствии с французскими стандартами для ядерных установок. Летом 2019 г. в международной организации ИТЭР во Франции состоится финальная защита проекта диагностики. После этого мы приступим к изготовлению и калибровке аппаратуры для ее последующей поставки на площадку ИТЭР.

### Лазер защищает от аварий и не только

Дивертор — это специальный отсек тороидальной камеры токамака-реактора, расположенный в ее нижней части (см. рис.1 и б). Благодаря специально созданной геометрии магнитного поля в дивертор направляются внешние слои плазмы с целью ее очистки. Именно внешние слои плазмы обогащены примесями, попадающими в плазму со стенок плазменной камеры. Там также накапливаются рождающиеся в результате термоядерного горения ионы гелия (так называемая «гелиевая зола»), которые в плазме диффундируют наружу. Поток слоя наружной плазмы, направленный в дивертор, попадает на специальные пластины из тугоплавкого материала, которым плазма отдает свою энергию. Дивертор — наиболее энергонапряженный и потому самый критический элемент реактора. Стационарный поток энергии на поверхность  $\sim 10$  МВт/м<sup>2</sup> оказывается в настоящее

время предельно допустимым для всех известных материалов и систем отвода тепла. Превышение этой величины ведет к серьезной аварии. Вот почему чрезвычайно важно контролировать поток энергии, попадающий в дивертор, осуществляя тем самым защиту реактора от аварий.

Эту задачу решает создаваемая в ФТИ диагностика томсоновского рассеяния в диверторе ИТЭР (ДТР), которая использует рассеяние света лазера на свободных электронах плазмы. Схема разрабатываемой диагностической системы показана на рис.6.

Поток плазмы на входе в дивертор разделяется на две части или, как их называют физики, — две «ноги». Луч лазера просвечивает наружную «ногу» дивертора. Лазер имеет следующие параметры: энергия в импульсе 2 Дж, длительность импульсов 3 нс, длина волны 1064 нм, частота 50 Гц. Оптическая система сбора света, рассеянного на электро-

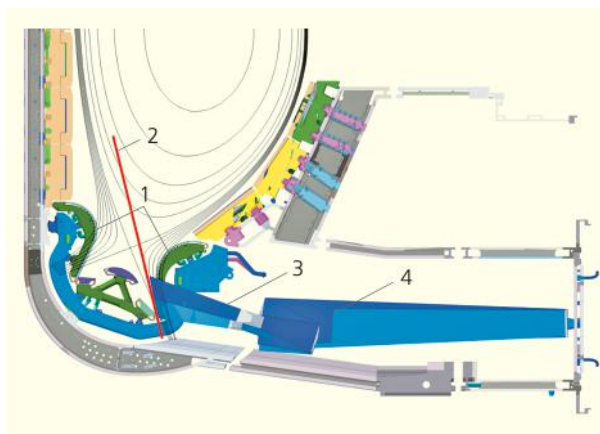


Рис.6. Сечение дивертора токамака ИТЭР, схема магнитных поверхностей и расположение лучей оптической системы сбора ДТР: 1 — диверторные пластины; 2 — луч зондирующего лазера; 3 — 25 линий наблюдения рассеянного света; 4 — оптическая система, состоящая из семи зеркал.



нах плазмы, собирает свет вдоль «ноги» дивертора на длине  $\approx 0.8$  м с помощью семи зеркал. Зеркала изготовлены из карбида кремния, покрытого отражающей пленкой серебра, защищенного, в свою очередь, прозрачным покрытием из  $ZrO_2$ . Как показали многочисленные испытания, именно такая комбинация материалов зеркал лучше всего подходит для использования в ИТЭР [7]. Работа диагностики в диверторе ИТЭР будет проходить в крайне неблагоприятных условиях — при высокой радиационной нагрузке на оптические элементы и загрязнении оптических элементов продуктами эрозии первой стенки в виде пылевых и пленочных осадений. Поэтому необходимо предусмотреть использование систем защиты внутривакуумных оптических компонентов. Уже разработана и испытывается система очистки зеркал высокочастотным (ВЧ) разрядом в сильном магнитном поле [8]. Заметим, что величина рассеянного магнитного поля реактора в районе расположения первого зеркала 3–5 Тл. В процессе работы реактора возможны смещения оптической системы относительно плазменной камеры, достигающие нескольких миллиметров. Это приведет к необходимости ее периодической юстировки, для чего предусмотрена дистанционная юстировка зеркал с использованием специально разработанных пьезодвигателей [9].

Оптическая система передает изображение зондирования «ноги» дивертора на вход оптоволоконного жгута, секционированного на 25 частей. Волоконный жгут длиной около 50 м передает световые импульсы на 25 спектрометров, расположенных в диагностической комнате. В каждом из 25 пучков рассеянного света спектрометрами измеряется абсолютная интенсивность и доплеровское уширение спектрального контура томсоновского рассеяния. По абсолютной интенсивности собранного рассеянного света определяется плотность рассеивающих электронов, а по доплеровскому уширению спектрального

контура лазерного излучения — их температура. Эти данные позволяют определить распределение давления электронного компонента плазмы ( $\sim n_e T_e$ ) вдоль по потоку из основной плазмы в дивертор и оценить плотность мощности плазменной нагрузки на диверторные пластины.

Рис.7 представляет распределения температуры и плотности электронов вдоль лазерного луча, полученные путем численного моделирования: они наглядно иллюстрируют чувствительность диагностики к изменению плотности мощности плазменной нагрузки на пластины дивертора. По приведенным результатам видно, что на основании анализа данных на длине луча лазера 0.2–0.4 м можно определять изменение плотности мощности нагрузки с предписываемой документами ИТЭР точностью 20%. Эти данные могут быть включены в систему обратных связей, регулирующих положение плазмы относительно дивертора. Предполагается, что в случае, когда мощность превышает  $15 \text{ МВт/м}^2$ , напуск газа на входе в дивертор позволит переизлучить часть мощности и увеличить давление на входе в дивертор. При этом мощность, попадающая в дивертор, уменьшится. Режимы работы, в которых ИТЭР сможет функционировать продолжительное время, соответствуют нагрузкам на диверторные пластины от  $6.5$  до  $10 \text{ МВт/м}^2$ , а ожидаемый оптимум составляет  $\sim 8 \text{ МВт/м}^2$ . Более низкая нагрузка, возникающая при повышении давления плазмы на входе в дивертор, приведет к уменьшению потока в дивертор из основной плазмы и ухудшению удержания плазмы из-за накопления примесей, а более высокую нагрузку диверторные пластины в течение длительности рабочего импульса ИТЭР выдержать не смогут. Так, нагрузка  $15 \text{ МВт/м}^2$  допускается только на несколько секунд. Таким образом, данные ДТР крайне важны для отработки режимов удержания плазмы в оптимальном с точки зрения безопасности сценарии работы реактора. Надо отметить, что эта задача — основная для ДТР

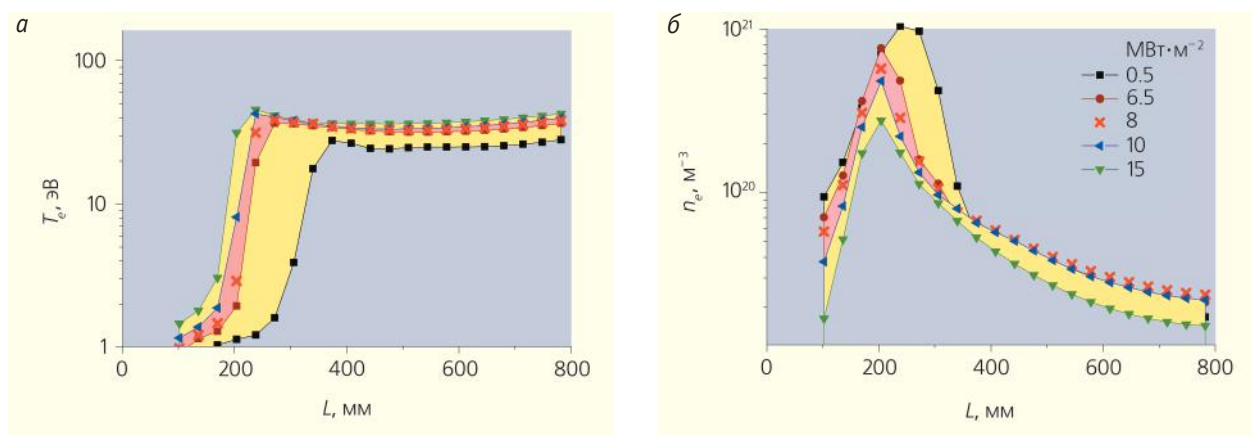


Рис.7. Расчетное распределение электронной температуры (а) и электронной плотности (б) плазмы вдоль луча зондирующего лазера снизу вверх при различных величинах плотности мощности плазменной нагрузки на пластины дивертора.



и жизненно важная для реактора. Но возможности применения ДТР на ИТЭР ею не ограничиваются: диагностика чрезвычайно информативна и для детального изучения физических процессов в диверторе, существенно влияющих на его работу. Эта тематика выходит за рамки настоящей статьи и рассматривается в специальных журналах (см., например, [10]).

ДТР в диверторе ИТЭР будет совмещена с другой лазерной диагностикой — лазерно-индуцированной флуоресценцией (ЛИФ). Пионерная работа, описывающая первое в мире применение ЛИФ на токамаке в нашем институте, представлена в [11]. Эта диагностика дает информацию о температуре ионов и атомов в плазме. Так же, как ДТР, ЛИФ — лазерная диагностика плазмы. В отличие от томсоновского рассеяния на свободных электронах, здесь используется возбуждение атомов или ионов, имеющих связанные электроны на своих оболочках, светом лазера с определенной резонансной частотой. При его поглощении происходят переходы между возбужденными уровнями, а затем возбуждение мгновенно снимается путем испускания соответствующих квантов света. Основная задача диагностики ЛИФ в ИТЭР — по доплеровскому уширению возбуждаемых спектральных линий находить температуру иона гелия и тем самым — ионную температуру в диверторной плазме. Другая задача ЛИФ — определение плотности атомов гелия в диверторе путем измерения абсолютной интенсивности возбуждаемых линий. При этом для возбуждения, например, линии атома гелия 587 нм можно использовать лазер с длиной волны 388,9 нм. Так как спектральные линии высвечиваются возбужденными атомами, концентрация которых может значительно отличаться от полной, измерение плотности нейтрального гелия требует пересчета с использованием столкновительно-излучательной модели. Необходимые при таком моделировании параметры  $n_e$  и  $T_e$  предоставляются ДТР. Подробное описание возможностей диагностики ЛИФ на ИТЭР представлено в работе [12]. Важно, что ДТР и ЛИФ — лазерные диагностики, взаимно дополняющие друг друга, которые используют в значительной степени одну и ту же универсальную лазерную и зондирующую оптику.

Надо отметить, что в целом эта комбинированная система лидирует среди диагностических систем на ИТЭР по числу инновационных решений. В настоящее время продолжается изготовление макетов критических элементов системы и их испытания. Готовится к вводу в строй стенд, на котором будут тестироваться различные устройства юстировки и защиты внутривакуумной оптики от напыления, в частности очистки оптических элементов ВЧ-разрядом. Эта работа вызывает большой интерес коллективов разных стран, занимающихся разработкой оптических диагностических систем для ИТЭР.

## Инспекция гамма-квантами

Гамма-диагностика термоядерной плазмы основана на спектроскопии гамма-излучения, вызванного ядерными реакциями с участием ионов с энергией в несколько сотен килоэлектронвольт и более, а также на регистрации сплошного спектра тормозного гамма-излучения электронов. Интенсивный линейчатый спектр гамма-излучения возникает тогда, когда быстрые ионы реагируют с ионами термоядерного топлива либо с плазменными примесями, такими как бериллий, бор, углерод и кислород. Развитие диагностики горячей плазмы методами гамма-спектроскопии началось в 1980-х годах при активном участии сотрудников ФТИ [13]. Тогда были достигнуты значительные успехи в разработке технологий дополнительного нагрева плазмы резонансными методами (ионно-циклотронный резонансный нагрев, нижегибридный нагрев) и путем инжекции в плазму пучков нейтральных атомов. Это привело к появлению значительной популяции ионов в плазме с энергией в сотни килоэлектронвольт и к возникновению достаточно интенсивных для регистрации ядерных реакций взаимодействия быстрых ионов с примесными ионами. Дополнительный нагрев обеспечил еще один источник быстрых ионов в плазме — продукты термоядерного синтеза, например альфа-частицы, появляющиеся в результате основной термоядерной реакции. Диагностировать распределение альфа-частиц, удерживаемых в плазме, помогает линия с энергией 4.44 МэВ, возникающая при реакции с участием бериллия (основной примеси в плазме на крупнейшем в настоящее время токамаке JET и на ИТЭР в будущем), —  ${}^9\text{Be}(\alpha, n\gamma){}^{12}\text{C}$ . Гамма-линия 4.44 МэВ имеет доплеровское уширение, измерив которое с помощью полупроводниковых детекторов с высоким энергетическим разрешением, можно восстановить энергетическое распределение альфа-частиц, появляющихся в результате термоядерного горения и в процессе своего торможения обеспечивающих нагрев плазмы [14]. Измерения распределения альфа-частиц чрезвычайно важны для контроля горения термоядерной плазмы.

Источником сплошного спектра гамма-излучения из плазмы служат ускоренные (так называемые убегающие) электроны, которые при взаимодействии с ионами плазмы вызывают интенсивное тормозное излучение в МэВ-диапазоне. Энергия пучка убегающих электронов в ИТЭР может достигать десятков мегаэлектронвольт, а ток убегания — более мегаампера. Диагностика развития пучков таких ускоренных электронов путем регистрации их тормозного спектра — необходимое условие безопасной эксплуатации термоядерного реактора, так как при срыве разряда пучок электронов может вызвать серьезные повреждения вакуумной камеры токамака.

Гамма-спектрометрические измерения с успехом применяются на токамаке JET для диагностики

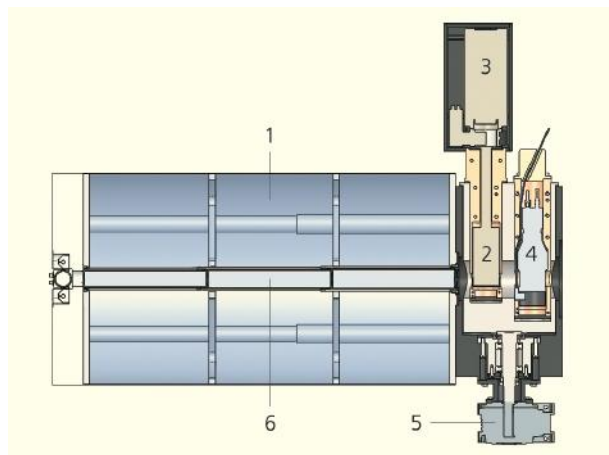


Рис.8. Схема элементов гамма-спектрометра: 1 — нейтронный экран; 2 — HPGe-детектор; 3 — электромеханический охладитель HPGe-детектора; 4 — LaBr<sub>3</sub>(Ce)-детектор; 5 — электродвигатель; 6 — нейтронный attenuator.

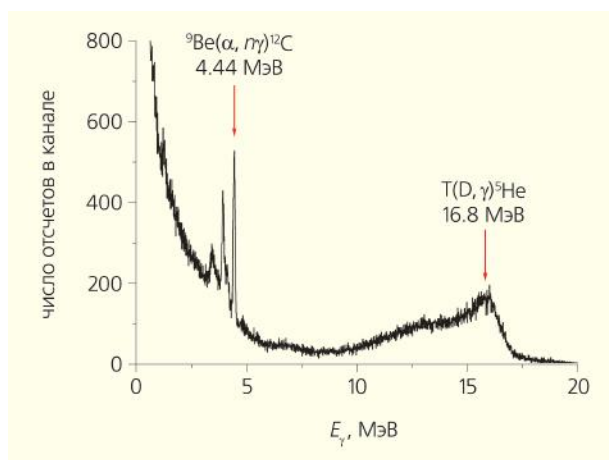


Рис.9. Результат моделирования спектра гамма-излучения за 100 мс разряда ИТЭР мощностью 500 МВт.

быстрых ионов и убегающих электронов [15–17]. Несколько лет назад соответствующая система JET была модернизирована. Были установлены новейшие спектрометры на основе сцинтилляционных детекторов LaBr<sub>3</sub>(Ce) с высокой скоростью счета [18] и полупроводниковый HPGe-спектрометр с энергетическим разрешением 2.5 кэВ (на линии 1332.5 кэВ), позволяющий восстанавливать энергетическое распределение ионов в плазме по доплеровскому уширению гамма-линий. Принимающие активное участие в модернизации гамма-спектрометрической системы JET ученые из ФТИ реализуют приобретенный опыт в разработке гам-

ма-спектрометра для ИТЭР [19, 20]. Основная задача разрабатываемого в ФТИ гамма-спектрометра — дополнить предоставляемые атомными анализаторами данные об изотопном отношении термоядерного топлива, измерить энергетический спектр альфа-частиц и других быстрых ионов (D, T, <sup>3</sup>He), а также сигнализировать о появлении в плазме убегающих электронов.

Гамма-спектрометр (рис.8) включает в себя два детектора: полупроводниковый HPGe и сцинтилляционный с кристаллом LaBr<sub>3</sub>(Ce). Изменяя положение приборов с помощью электропривода, можно оптимизировать загрузку детекторов в зависимости от условий и целей проводимых спектрометрических измерений. Так как скорость счета LaBr<sub>3</sub>(Ce)-детектора на порядок превосходит предельно допустимую загрузку HPGe-детектора, в экспериментах с высоким выходом нейтронного и гамма-излучения целесообразно установить сцинтилляционный детектор с передней стороны полупроводникового детектора. Для уменьшения потока нейтронов на вход гамма-спектрометра перед ним установлен нейтронный attenuator, представляющий собой стальной цилиндрический корпус, наполненный таблетками прессованного гидрида лития LiH. Последний обеспечивает высокую степень поглощения и рассеяния нейтронного излучения, оставаясь при этом относительно прозрачным для гамма-квантов: 120-сантиметровый attenuator уменьшает поток нейтронов на гамма-детекторы более чем в 10 тыс. раз, при этом поток гамма-излучения снижается всего лишь в 10 раз. Для обеспечения спектрометрических измерений в условиях термоядерного эксперимента потребовалось разработать алгоритмы цифровой обработки сигналов гамма-детекторов, обеспечивающие стабильные измерения при скорости счета LaBr<sub>3</sub>(Ce)-детектора до 5·10<sup>6</sup> с<sup>-1</sup> и HPGe-детектора до 5·10<sup>5</sup> с<sup>-1</sup>. На рис.9 показан модельный спектр гамма-излучения, который может быть зарегистрирован HPGe-детектором на ИТЭР за 100 мс. На нем отчетливо видна линия 4.44 МэВ, порожденная реакцией альфа-частиц с бериллием. Широкий пик в районе 17 МэВ возникает благодаря второй ветви DT-реакции, идущей с испусканием гамма-кванта: T(D, γ)<sup>5</sup>He. Измерение ее интенсивности обеспечивает диагностику скорости термоядерного синтеза в плазме.

В настоящее время проводится макетирование основных узлов гамма-спектрометра и испытания (тестирование) детекторов в условиях, приближенных к условиям измерений на ИТЭР. Летом 2021 г. в международной организации ИТЭР во Франции состоится финальная защита проекта диагностики. ■

## Литература / Reference

1. Сахаров А.Д., Тамм И.Е. Теория магнитного термоядерного реактора. Физика плазмы и проблема управляемых термоядерных реакций. Ред. М.А.Леонтович. М., 1958; 1: 3–42. [Sakharov A.D., Tamm I.E.

- The theory of magnetic thermonuclear reactor. Plasma physics and the problem of controlled nuclear fusion reactions. M.A.Leontovich (ed.). Moscow, 1958; 1: 3–42. (In Russ.)]
2. *Афросимов В.В., Гладковский И.П., Кисляков А.И., Петров М.П.* Масс-анализ потока нейтральных атомных частиц, испускаемых плазмой, на установке «Альфа». ЖТФ. 1963; 33(2): 205–212. [*Afrosimov V.V., Gladkowskii I.P., Kislyakov A.I., Petrov M.I.* Mass-analysis of the neutral particle flux emitted by the plasma of “Alpha” installation. Soviet Physics-Technical Physics. 1963; 8: 1467–1475.]
  3. *Афросимов В.В., Петров М.П.* Об энергетических распределениях ионов в плазме на установках токамак. ЖТФ. 1967; 37(11): 1995–2007. [*Afrosimov V.V., Petrov M.P.* Ion energy distribution in tokamak Devices. Soviet Physics-Technical Physics. 1968; 12: 1467–1475.]
  4. *Petrov M.P.* Passive neutral particle analysis. Fusion Physics. Vienna, 2012; 4.2.6: 393–399.
  5. *Afanasyev V.I., Chernyshev F.V., Kislyakov A.I. et al.* Neutral particle analysis on ITER — present status and prospects. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. 2010; A 621: 456–467.
  6. *Afanasyev V.I., Mironov M.I., Kislyakov A.I. et al.* Neutral particle analysis on ITER and requirements for DEMO. AIP Conf. Proc. 2008; 988: 177–184.
  7. *Mukhin E.E., Semenov V.V., Razdobarin A.G. et al.* First mirrors in ITER: material choice and deposition prevention/cleaning techniques. Nucl. Fusion. 2012; 52: 013017.
  8. *Razdobarin A.G., Dmitriev A.M., Bazhenov A.N. et al.* RF discharge for in situ mirror surface recovery in ITER. Nucl. Fusion. 2015; 55: 093022.
  9. *Mukhin E., Andrew P., Babinov N.A. et al.* Hardware solutions for ITER divertor Thomson scattering. Fusion Eng. Des. 2017; 123(11): 686–689.
  10. *Mukhin E.E., Pitts R.A., Andrew P. et al.* Physical aspects of divertor Thomson scattering implementation on ITER. Nucl. Fusion. 2014; 54: 043007.
  11. *Razdobarin G.T., Semenov V.V., Sokolova L.V. et al.* An absolute measurement of the neutral density profile in the tokamak plasma by resonance fluorescence on H-alpha line. Nucl. Fusion. 1979; 19(2): 1439–1446.
  12. *Gorbunov A.V., Mukhin E.E., Berik E.B. et al.* Laser-induced fluorescence for ITER divertor plasma. Fusion Eng. Des. 2017; 123(11): 695–698.
  13. *Kiptily V.G., Cecil F.E., Medley S.S.* Gamma ray diagnostics of high temperature magnetically confined fusion plasmas. Plasma Phys. Control. Fusion. 2006; 48: R59–R82.
  14. *Kiptily V.G., Gorini G., Tardocchi M. et al.* Doppler broadening of gamma ray lines and fast ion distribution in JET plasmas. Nucl. Fusion. 2010; 50: 084001.
  15. *Kiptily V.G., Cecil F.E., Jarvis O.N. et al.*  $\gamma$ -ray diagnostics of energetic ions in JET. Nucl. Fusion. 2002; 42: 999–1007.
  16. *Kiptily V.G., Van Eester D., Lerche E. et al.* Fast ions in mode conversion heating ( $^3\text{He}$ )—H plasmas in JET. Plasma Phys. Control. Fusion. 2012; 54: 074010.
  17. *Shevelev A.E., Khibkevitch E.M., Kiptily V.G. et al.* Reconstruction of distribution functions of fast ions and runaway electrons in fusion plasmas using gamma-ray spectrometry with applications to ITER. Nucl. Fusion. 2013; 53: 123004.
  18. *Nocente M., Tardocchi M., Chugunov I. et al.* Energy resolution of gamma-ray spectroscopy of JET plasmas with a  $\text{LaBr}_3$  scintillator detector and digital data acquisition. Rev. Sc. Instr. 2010; 81: 10D321.
  19. *Chugunov I.N., Shevelev A.E., Gin D.B. et al.* Development of gamma-ray diagnostics for ITER. Nucl. Fusion. 2011; 51: 083010.
  20. *Gin D., Chugunov I., Shevelev A. et al.* Gamma ray spectrometer for ITER. AIP Conference Proceedings. 2014; 1612: 149.

## Ioffe Institute to International Nuclear Fusion Reactor

M.P.Petrov<sup>1</sup>, V.I.Afanasyev<sup>1</sup>, E.E.Mukhin<sup>1</sup>, A.E.Shevelev<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>*Ioffe Physical-Technical Institute, RAS (Saint Petersburg, Russia)*

International Thermonuclear Experimental Reactor (ITER) is currently under construction in France. Three diagnostic systems intended for control and measurement of ITER plasma are being developed in Ioffe Institute as a part of the Russian Federation international responsibilities. They are the neutral particle diagnostic system (NPA diagnostics), the divertor Thomson scattering (DTS) diagnostics system, and the gamma-ray spectrometry system (GAMMA). The main goal of NPA diagnostics is to monitor the density ratio of deuterium and tritium ions in the burning plasma by measuring atomic fluxes emitted by plasma as a result of ion neutralization processes. The DTS diagnostics detects the laser light scattered by plasma electrons in the divertor, allowing monitoring of divertor power loads and serves for the reactor protection from breakdown. The Gamma-ray diagnostics registers continuous and line gamma-ray spectra emitted by the ITER plasma. Continuous spectrum measurements will be used for the ITER protection as they allow monitoring of the intensity and the growth rate of the runaway electron beam. In turn, line spectrum measurements will be used to determine the fast ion confinement time in the ITER plasma.

**Keywords:** thermonuclear reactor ITER, atom analysers, Thomson scattering, gamma-ray spectrometry.

# Спины в полупроводниковых нанокристаллах

А.В.Родина<sup>1</sup>, Д.Р.Яковлев<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Физико-технический институт имени А.Ф.Иоффе РАН (Санкт-Петербург, Россия)

<sup>2</sup>Технический университет Дортмунда (Германия)

Полупроводниковые коллоидные нанокристаллы с характерными размерами в несколько нанометров — важный модельный объект для исследования физических процессов в условиях сильного размерного квантования электронных состояний. В силу многообразия формы, размера, химического состава, свойств поверхности они находят применение в оптоэлектронике, фотовольтаике, биологии и медицине. Их спиновые свойства остаются малоисследованными, но уже имеющиеся экспериментальные и теоретические результаты показывают, что спин-зависимые процессы могут сильно менять оптические и магнитооптические характеристики коллоидных нанокристаллов и открывать новые области для их функционализации.

**Ключевые слова:** коллоидные полупроводниковые нанокристаллы, спин-зависимые явления, магнитооптика, экситон.

Сегодня термин «квантовая точка» знаком многим. В телевизионной рекламе и в Интернете широко представлены телевизоры и дисплеи на квантовых точках. Само это словосочетание было впервые введено по аналогии с уже устоявшимся термином «квантовая яма» в 1986 г. в статье, посвященной оптическим исследованиям эпитаксиально выращенных низкоразмерных полупроводниковых гетероструктур [1]. А первыми квантовыми точками, в которых в начале 1980-х годов был обнаружен и систематически исследован эффект размерного квантования, обусловленный ограничением движения электронов во всех трех пространственных направлениях, были полупроводниковые коллоидные нанокристаллы, синтезированные в диэлектрической матрице — стекле или водном растворе. Именно оптические исследования полупроводниковых нанокристаллов CuCl, а затем и CdS в стекле, проводившиеся в 1981 г. в Ленинграде группой А.И.Екимова в Государственном оптическом институте (ГОИ) [2] совместно с теоретиками А.Л.Эфросом и Ал.Л.Эфросом из Физико-технического института имени А.Ф.Иоффе (ФТИ) [3, 4] (рис.1), положили начало новой области — физике полупроводниковых нульмерных структур, т.е.



**Анна Валерьевна Родина**, доктор физико-математических наук, профессор РАН, старший научный сотрудник лаборатории оптики полупроводников и лаборатории спинотроники Физико-технического института имени А.Ф.Иоффе РАН. Область научных интересов — теория полупроводников и полупроводниковых наноструктур, оптика полупроводников, спиновые явления в полупроводниковых наноструктурах. e-mail: anna.rodina@mail.ioffe.ru



**Дмитрий Робертович Яковлев**, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории спектроскопии твердого тела того же института и профессор Технического университета Дортмунда (Германия). Занимается магнитооптикой и спиновыми явлениями в полупроводниковых наноструктурах.

квантовых точек. На пару лет позже в группе Л.Е.Брюса (L.E.Bruse, Лаборатории Белла, США) были начаты исследования эффекта размерного квантования в коллоидных полупроводниковых нанокристаллах CdS в водном растворе [5].

Поглощение и излучение света полупроводником сопровождается рождением и рекомбинацией электронно-дырочной пары. Связанные кулоновским взаимодействием электрон и дырка образуют нейтральную квазичастицу — экситон, спектр поглощения которого в объемных крис-



таллах  $\text{Cu}_2\text{O}$  наблюдался впервые Е.Ф.Гроссом и Н.А.Карриевым в 1951 г. в ФТИ [6]. А уже в 1957 г. Е.Ф.Гросс и А.А.Каплинский сообщили о зависимости спектров поглощения и излучения коллоидных частиц  $\text{CuCl}$  в матрице  $\text{NaCl}$  от условий термообработки (т.е. фактически от размера частиц) [7], но понимание роли размерного квантования носителей заряда пришло гораздо позже.

В начале 1980-х не было еще термина нанокристаллы, тогда говорили «микрочристаллы», хотя их размеры были порядка 5–10 нм. Именно такой масштаб объектов позволил наблюдать эффекты размерного квантования, проявляющиеся в зависимости энергии оптических переходов от размера. На рис.1 показан образец стекла с нанокристаллами  $\text{CdSe}$ , полученный в реакторе с градиентом температуры, что привело к формированию нанокристаллов разной величины. Меньший размер нанокристалла соответствует большей энергии размерного квантования локализованных в нем носителей заряда (электронов и дырок) или экситона как целого и, соответственно, большим энергиям излучаемого при рекомбинации фотона (сдвиг от красного цвета к желтому). Сильный эффект размерного квантования обуславливает применение полупроводниковых коллоидных нанокристаллов в дисплеях и телевизорах.

### Особенности коллоидных нанокристаллов

Современные технологии позволяют синтезировать в растворах при температурах 150–300°C полупроводниковые коллоидные нанокристаллы и композитные наноструктуры различной формы: сферические квантовые точки, вытянутые одномерные стержни (нанороды), плоские двумерные пластины (наноплателеты). Рост нанокристаллов контролируется введением в раствор органических молекул — лигандов, которые связываются с атомами на поверхности нанокристалла и пассивируют их оборванные связи [8]. На рис.2 показаны пробирки с коллоидными растворами нанокристаллов  $\text{CdSe}$  размерами от 1.8 до 6 нм, содержащими от  $10^3$  до  $10^5$  атомов, и примеры синтезируемых структур. В настоящее время интерес к их исследованиям обусловлен как фундаментальным характером возникающих задач и новых физических яв-



Рис.1. Полупроводниковые нанокристаллы в стекле и их исследователи. Градиентный образец со сферическими нанокристаллами  $\text{CdSe}$  (вверху), чьи диаметр и длина волны излучения меняются от 4 нм (580 нм, желтый) до 10 нм (680 нм, красный). Пионеры изучения нанокристаллов. Слева направо: Алексей Иванович Екимов, Алексей Львович Эфрос и Александр Львович Эфрос (1984 г., Армения). А.Л.Эфрос рассматривает градиентный образец с верхнего рисунка.

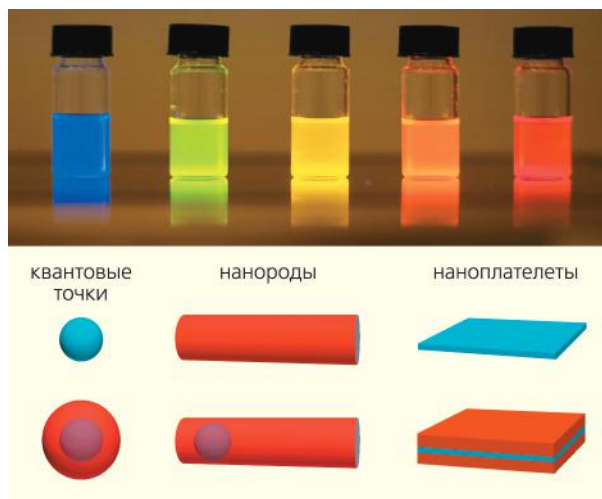


Рис.2. Коллоидные полупроводниковые нанокристаллы. Растворы со сферическими нанокристаллами  $\text{CdSe}$  (вверху), у которых диаметр и длина волны излучения меняются от 1.8 нм (480 нм, голубой) до 6 нм (640 нм, красный). Многообразие форм коллоидных наноструктур. Верхний ряд: квантовые точки (quantum dots), нанороды (nanorods) и наноплателеты (nanoplatelets) из одного материала. Нижний ряд — гетероструктуры ядро—оболочка (core—shell) из двух различных полупроводников.



лений, так и широким спектром их практических применений в оптоэлектронике, фотовольтаике, биологии и медицине [9]. Синтезированные в растворе коллоидные нанокристаллы легко встраиваются в различные материалы и исследуемые объекты, что является большим преимуществом для их применений. Благодаря большому времени жизни носителей заряда и длительной спиновой когерентности коллоидные нанокристаллы перспективны для создания приборов нанoeлектроники, использующих спиновые явления.

Одним из модельных объектов кубита (квантового разряда для хранения информации) в спинтронике — направлении физики, изучающем спиновые явления и приборы на их основе для перспективных систем квантовых вычислений и квантовой информатики, — служит спин одиночного электрона, локализованного в квантовой точке. Большой объем соответствующих экспериментальных исследований был проведен на эпитаксиальных (т.е. выращенных методом молекулярно-лучевой эпитаксии на полупроводниковой подложке) квантовых точках, а спиновые свойства коллоидных нанокристаллов оставались практически неисследованными.

В этом обзоре мы представляем результаты комплексных технологических, экспериментальных и теоретических исследований оптических свойств полупроводниковых коллоидных нанокристаллов, обусловленных спин-зависимыми взаимодействиями [10–22], — плод работы большого интернационального коллектива. Изученные нанокристаллы, которые были синтезированы во Франции, в Бельгии и Гонконге, включают в себя сферические квантовые точки CdSe/CdS, CdTe и CdS, одномерные структуры CdSe/CdS, двумерные наноплателеты CdSe, CdSe/ZnS и CdSe/CdS. Для усиления спиновых свойств эти структуры могут быть легированы магнитными ионами  $Mn^{2+}$ . Оптические исследования проводились в Техническом университете Дортмунда (Германия), в лабораториях оптики полупроводников ФТИ и в Радбоуд-университете Наймегена (Голландия). Использовались поляризационная спектроскопия в нулевом и внешнем магнитном поле, спектроскопия с временным разрешением, спектроскопия методом сужения линии фотолюминесценции (СЛФЛ-спектроскопия, или FLN-спектроскопия) при резонансном возбуждении подгруппы нанокристаллов в ансамбле, метод неупругого рассеяния света с переворотом спина (РСПС, или Spin-flip Raman scattering), метод накачки—зондирования (pump-probe) с фемтосекундным и пикосекундным разрешением. В большинстве этих методик прикладывались сильные магнитные поля вплоть до 30 Тл. В развитии теории и в анализе экспериментальных данных участвовали теоретики ФТИ А.В.Родина, А.А.Головатенко, М.А.Семина и пионер данной области Ал.Л.Эфрос.

На момент начала наших исследований в 2012 г. мы планировали перенести богатый опыт экспериментальных и теоретических исследований спиновых явлений в эпитаксиальных квантовых точках на коллоидные нанокристаллы. В ходе экспериментов выявились существенные различия между этими объектами, обусловленные в первую очередь диэлектрическим окружением коллоидных нанокристаллов — в отличие от эпитаксиальных точек, окруженных полупроводником (хоть и более широкозонным по сравнению с ними), что потребовало разработки новых подходов. Перечисленные ниже факторы делают полупроводниковые коллоидные нанокристаллы уникальными объектами для изучения фундаментальных свойств носителей заряда и их спин-зависимых взаимодействий в условиях сильного размерного квантования и близости поверхности.

— Сильное размерное квантование носителей, связанное с малыми размерами коллоидных нанокристаллов (эпитаксиальные точки обычно крупнее) и большой высотой потенциальных барьеров между полупроводником и диэлектрическим окружением (в эпитаксиальных гетероструктурах этот барьер ниже).

— Большое различие диэлектрических свойств полупроводникового нанокристалла и окружающей его матрицы, приводящее к диэлектрическому усилению кулоновского взаимодействия между носителями заряда и увеличению энергий их размерного квантования и энергии связи экситона, а также к модификации локального электрического поля [16].

— Сильное обменное взаимодействие между электроном и дыркой, обусловленное их локализацией в области пространства меньше размера экситона и диэлектрическим усилением [23, 24]. Обменное взаимодействие приводит к тому, что в основном состоянии экситона в нанокристалле спины электрона ( $1/2$ ) и дырки ( $3/2$ ) направлены в одну сторону и экситон имеет магнитный момент 2. Такое состояние запрещено к излучательной рекомбинации с испусканием фотона по закону сохранения углового момента (спина) и называется темным. Оно отщеплено от находящегося выше по энергии разрешенного светлого состояния на 2–20 мэВ и, будучи преимущественно заселено при низких температурах, ответственно за долгие времена высвечивания фотолюминесценции (ФЛ). Хотя долговременная (по отношению к моменту создания возбужденного состояния) ФЛ темного экситона в коллоидных нанокристаллах экспериментально наблюдалась с начала 1990-х [25], ее механизм до недавнего времени не был установлен.

— Сильная модификация обменного взаимодействия носителей с магнитными примесями и их зависимость от места расположения магнитного иона в нанокристалле [26].

— Существование на поверхности коллоидных нанокристаллов парамагнитных центров. Та-

кие центры либо соответствуют оборванным связям, образующимся из-за неполной пассивации поверхностных атомов полупроводникового нанокристалла лигандами, либо формируются перераспределением электронной плотности между электронными оболочками поверхностных атомов и лигандов. Взаимодействие локализованного в нанокристалле экситона с поверхностными спинами существенно влияет на оптические и магнитные свойства нанокристаллов [8].

— Экситоны в коллоидных нанокристаллах слабо взаимодействуют с колебаниями атомов окружающей их диэлектрической матрицы. Это существенно влияет на скорость процессов спиновой релаксации носителей и экситонов, которые в эпитаксиальных точках обусловлены взаимодействием с колебаниями их кристаллического окружения (фононами барьеров).

— Легирование коллоидных нанокристаллов примесными центрами, как для введения магнитных ионов, так и для получения резидентных носителей заряда, затруднено процессами их самоочищения (self-purification) и поверхностной адсорбции в ходе синтеза [27].

— Наличие спонтанных процессов ионизации и нейтрализации коллоидных нанокристаллов при фотовозбуждении электрон-дырочной пары и захвате одного из носителей на поверхностную ловушку (ионизация) с последующим его возвращением обратно в нанокристалл (нейтрализация). Они приводят к их короткоживущей или длительной фотозарядке [10, 18, 20, 28], которую можно охарактеризовать как фотолегирование.

## Ориентация нанокристаллов в ансамбле

Для проведения оптических и магнитооптических исследований при низких температурах коллоидные нанокристаллы, синтезированные в жидкой среде, готовят специальным образом: их капают на подложку и высушивают. Следует отметить, что даже для сферических нанокристаллов характерно наличие одноосной анизотропии, обусловленной симметрией их кристаллической решетки и/или небольшой несферичностью (сфероидальностью) формы. У сфероидальных нанокристаллов обычно наблюдается произвольная ориентация их осей в ансамбле, образующемся после высушивания. Для ансамблей одномерных или двумерных нанокристаллов, напротив, можно ожидать, что на подложке их оси приобретут предпочтительную ориентацию. Например, мы обнаружили, что для наноплателетов с большой толщиной оболочки, форма которых близка к кубической, характерны две ориентации — горизонтальная и вертикальная [20]. С помощью предварительного разведения раствора коллоидных нанокристаллов перед их высаживанием на подложку можно приготовить ансамбли различной плотности. В эксперименте, как прави-

ло, возбуждающий свет лазера падает перпендикулярно к подложке и сигнал ФЛ собирается в обратном направлении. Исследования поляризованной ФЛ в магнитном поле, как и сигнала РСПС, позволяют судить о преимущественной ориентации наноплателетов в ансамбле, которая может быть различна для плотно и неплотно упакованных ансамблей. При изучении поляризационных свойств ансамблей несферических нанокристаллов необходимо учитывать так называемый «эффект антенны», обусловленный разницей диэлектрических характеристик внутри и снаружи полупроводника, которая приводит к перенормировке локального электрического поля и его анизотропии [13, 16].

## Зеемановское расщепление и $g$ -фактор

Эффект Зеемана, описывающий расщепление электронных уровней с противоположной ориентацией спинов во внешнем магнитном поле, является основополагающим в спиновой физике. Он позволяет измерить значение  $g$ -фактора носителей и экситонов  $g$ , которое характеризует их взаимодействие с магнитным полем, по энергии  $E_z$  наблюдаемого расщепления:  $E_z = g\mu_B B$ , где  $\mu_B$  — магнетон Бора, а  $B$  — величина магнитного поля. В силу того что неоднородная ширина линии излучения ансамбля нанокристаллов (10–100 мэВ) значительно превышает характерные величины  $E_z$  в полях до 10 Тл (около 1 мэВ), прямое измерение зеемановского расщепления в спектрах ФЛ затруднено. Самый распространенный метод нахождения зеемановского расщепления в таких ансамблях — измерение степени циркулярной поляризации фотoluminesценции во внешнем магнитном поле [22]. При неполяризованном возбуждении циркулярная поляризация ФЛ в магнитном поле возникает из-за разности населенностей спиновых зеемановских подуровней и в малых полях оказывается пропорциональной  $E_z$ . Теоретическое описание циркулярной поляризации ФЛ от ансамбля произвольно ориентированных нанокристаллов, впервые предложенное в работе [29], было развито нами с учетом специфики различных структур [11, 20, 22]. Измерение циркулярной поляризации с разрешением по времени позволяет исследовать спиновую динамику экситонов и носителей.

К оптическим методам, позволяющим прямо измерять  $g$ -фактор с высокой точностью, относятся неупругое рассеяние света с переворотом спина и метод накачки—зондирования с использованием для зондирования эффектов вращения Фарадея или Керра, регистрирующих спиновую поляризацию. До начала наших исследований метод РСПС опробовали на нанокристаллах CdS в стекле и обнаружили зависимость  $g$ -фактора электрона от размера нанокристалла [30]. Теоретический анализ размерной зависимости  $g$ -фактора электрона в нанокристаллах CdSe, измерен-

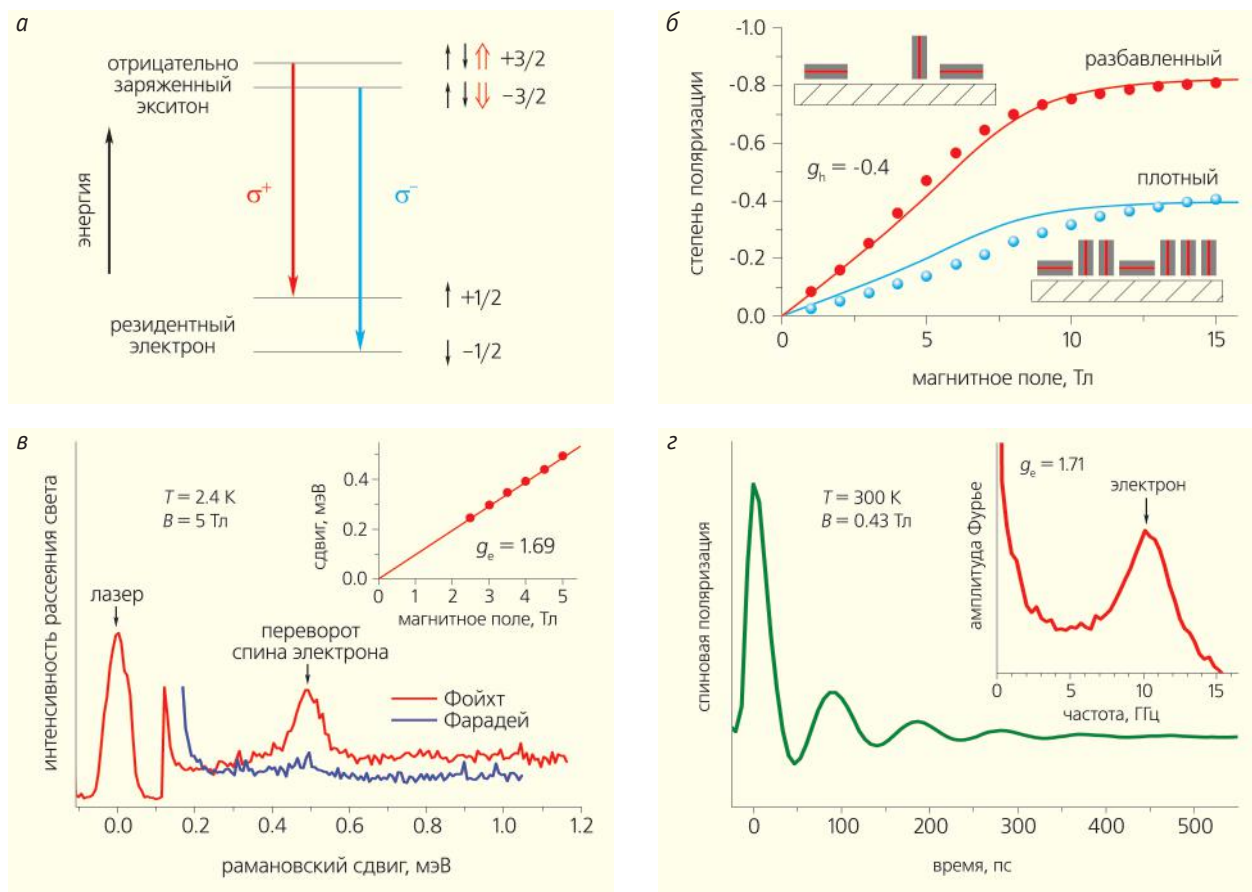


Рис.3. Различные методы исследования зеемановского расщепления и спиновой динамики на примере наноплателетов CdSe (1.2 нм) с толстой оболочкой CdS (8.4 нм). Схема уровней и оптических переходов при рекомбинации отрицательно заряженного экситона (а). Спины электрона и дырки показаны одинарной и двойной стрелками, соответственно. Циркулярная поляризация фотolumинесценции, наведенная магнитным полем (б, геометрия Фарадея, разбавленный и плотный ансамбли). Неупругое рассеяние света с переворотом спина (в, разбавленный ансамбль). Лазер с энергией излучения 1.9588 эВ резонансно возбуждает отрицательно заряженный экситон. Линия электронного состояния сдвинута от длины волны лазера на величину зеемановского расщепления. Магнитное поле приложено либо вдоль подложки (геометрия Фойхта), либо поперек (геометрия Фарадея). Динамика спиновой поляризации по данным метода накачки—зондирования с лазерными импульсами длительностью 3 пс (г, наноплателеты в растворе). Циркулярно поляризованный импульс накачки создает спиновую поляризацию носителей, а линейно поляризованный зондирующий импульс ее детектирует. Осцилляции сигнала во времени отражают ларморовскую прецессию электронного спина в поперечном магнитном поле. Частота прецессии позволяет установить электронный  $g$ -фактор. Время спиновой дефазировки в 100 пс определяется из затухания осцилляций.

ной методом накачки—зондирования, позволил обнаружить и описать влияние поверхности [31].

В работе [20] мы применили все эти методы для исследования спиновых свойств наноплателетов CdSe/CdS с большой толщиной оболочки (рис.3). Это позволило показать, что при гелиевой температуре наноплателеты отрицательно заряжены и их ФЛ определяется рекомбинацией отрицательно заряженных экситонов (трионов; схема уровней и оптических переходов показана на рис.3,а), найти величины  $g$ -факторов дырок (рис.3,б) и электронов при гелиевой (2.4 К, рис.3,в) и при комнатной (300 К, рис.3,г) температурах; измерить время спиновой когерентности, составившее 100 пс при комнатной температуре (рис.3,г), а также устано-

вить преимущественную ориентацию наноплателетов на подложке (рис. 3,б). На последней остановимся подробнее.

У дырки со спином  $3/2$   $g$ -фактор, определяющий расщепление уровней отрицательно заряженного экситона (см. схему на рис.3,а), сильно анизотропен — его компонента в плоскости наноплателета близка к нулю. Это позволяет из измерения циркулярной поляризации фотolumинесценции в магнитном поле оценить преимущественную ориентацию наноплателетов, осажженных на подложку. Как упоминалось выше, для наноплателетов с большой толщиной оболочки характерны только две возможные ориентации — горизонтальная и вертикальная. При этом доля

вертикально ориентированных наноплателетов тем больше, чем больше плотность ансамбля (см. схемы на рис.3,б). В разбавленном ансамбле плателеты ориентированы преимущественно горизонтально, что дает большую, около 80%, степень насыщения поляризации в сильных полях. Это согласуется с отсутствием сигнала РСПС в геометрии Фарадея (рис.3,в). В плотном ансамбле доминируют вертикально ориентированные плателеты, в которых начальное трионное состояние не расщепляется магнитным полем из-за сильной анизотропии  $g$ -фактора дырки, что понижает степень циркулярной поляризации (рис.3,б) и одновременно разрешает наблюдение сигнала РСПС в геометрии Фарадея. Измерение степени насыщения поляризации позволяет получить количественную оценку ориентации нанокристаллов в ансамбле. Произвольная ориентация соответствует степени циркулярной поляризации 75%.

### Рекомбинация темного экситона

В сферических и двумерных коллоидных нанокристаллах CdSe и CdTe без оболочки или с тонкой оболочкой, а также в одномерных структурах (ядро CdSe в нанородах CdS) мы наблюдали фотолюминесценцию нейтральных экситонов. При низких температурах жидкого гелия (4.2 К) эта ФЛ имеет длинное время затухания (порядка сотен наносекунд), так как оно определяется медленной рекомбинацией темных (запрещенных по спину к переходам в дипольном приближении) экситонов. Время рекомбинации сокращается при повышении температуры за счет заселения более быстрого (дипольно-разрешенного) светлого экситона. Исследования температурной зависимости динамики ФЛ позволило определить энергетическое расщепление между темным и светлым экситонами, которое в наших структурах варьировалось от 2 до 6 мэВ [13, 17, 21]. Что характерно, время жизни нейтральных экситонов при низких температурах сокращается и при приложении магнитного поля, ориентированного перпендикулярно оси анизотропии нанокристалла. Это связано с подмешиванием состояний светлого экситона к темному, что активирует его излучательную рекомбинацию. Экспериментальные исследования и теоретическое моделирование ФЛ плотно упакованных ансамблей нанокристаллов CdTe в магнитном поле позволили установить доминирующую роль темного экситона при низких температурах не только в излучательной рекомбинации, но и в процессе феррестерского резонансного переноса возбуждения между экситонами в нанокристаллах разного размера, обусловленного их диполь-дипольным взаимодействием [12].

Мы обнаружили экспериментально, что излучение при рекомбинации темного экситона — как в магнитном поле, так и без него — поляризовано

преимущественно поперечно по отношению к оси анизотропии нанокристалла [13]. Такая ситуация возможна только при перевороте спина электрона в экситоне [15]. В работе [14] предложен новый эффективный механизм рекомбинации темного экситона за счет обменного взаимодействия электрона в экситоне с магнитными моментами оборванных связей на поверхности нанокристаллов. Одновременный переворот спина электрона в экситоне и одного из локализованных на поверхности спинов приводит к виртуальному переходу темного состояния в светлое с его одновременной рекомбинацией. Такой же механизм рекомбинации мы предсказали теоретически и для темных экситонов в двумерных наноплателетах [22]. Важная особенность этого механизма — возможность воздействовать на его эффективность с помощью внешних факторов — понижения температуры или приложения магнитного поля. Оказалось, что оба фактора могут приводить к выстраиванию всех локализованных на поверхности спинов вдоль магнитного поля или вдоль оси анизотропии, что, в свою очередь, влияет на скорость рекомбинации. Исследования температурной зависимости скорости рекомбинации темного экситона (до начала термического заселения состояний светлого экситона) подтвердили экспериментально эффективность данного механизма рекомбинации [17].

### Магнитный полярон на поверхностных спинах

Особенности низкотемпературных оптических спектров при селективном возбуждении ансамбля коллоидных нанокристаллов с большой шириной линии ФЛ наблюдались еще в 1994 г. [25], и нам удалось их объяснить с помощью модели магнитного полярона на поверхностных спинах [14]. Оказалось, что даже в отсутствие внешнего магнитного поля можно выстроить все локализованные на поверхности спины в одном направлении — поляризовать их вдоль оси нанокристалла. При этом обменное поле поляризованных спинов играет роль внутреннего магнитного поля, под действием которого возникает зеэмановское расщепление спиновых подуровней темного экситона и его спиновая поляризация. Поляризованный по спину экситон вместе с поляризованными поверхностными спинами образуют магнитный полярон.

Выстраивание спинов в нулевом магнитном поле становится возможным благодаря положительной обратной связи — обратному влиянию термодинамически поляризованного по спину темного экситона на локализованные спины. Такое влияние обусловлено двумя механизмами, связанными с обменным взаимодействием, — термодинамическим и динамическим. Термодинамический механизм определяется обратным воздействием обменного поля поляризованного экситона на локализован-



ные спины и аналогичен механизму формирования поляронного состояния в полуметаллах [32]. Второй механизм, предложенный в работе [14], имеет динамический характер — при температурах ниже критической поляризация поверхностных спинов нарастает в процессе оптического возбуждения и излучательной рекомбинации темного экситона с одновременным перевертыванием спина на поверхности.

Термодинамическая спиновая поляризация экситона возникает благодаря расщеплению его спиновых подуровней и быстрой спиновой релаксации в нижнее состояние, что является важным условием динамической поляризации поверхностных спинов и формирования магнитного полярона. Экспериментально короткое время спиновой релаксации (по сравнению с долгим временем жизни темного экситона) было установлено нами по быстрому нарастанию циркулярной поляризации ФЛ во внешнем магнитном поле [11, 13]. Процесс динамической поляризации поверхностных спинов и образования магнитного полярона схематически показан на рис.4,а.

Важно, что формирование полярона подавляет процесс излучательной рекомбинации темного экситона и одновременно приводит к понижению энергии оптического перехода на энергию полярона  $E_p$ , которая может достигать нескольких миллиэлектронвольт. Это делает возможным оптическое детектирование данного эффекта в низкотемпературных спектрах фотолюминесценции при резонансном (селективном) возбуждении под-

группы нанокристаллов в ансамбле. Мы провели детальные экспериментальные исследования зависимостей спектров ФЛ нанокристаллов CdSe радиусом 1.4 нм от температуры, мощности и длительности фотовозбуждения. Их теоретический анализ позволил однозначно доказать формирование полярона и определить его параметры [17]. Мы обнаружили неожиданно медленную (часы) динамику поляризации спинов оборванных связей в ансамбле нанокристаллов и их релаксации к неупорядоченному состоянию после выключения возбуждения. Это связано с динамикой процессов спонтанной ионизации и нейтрализации нанокристаллов при фотовозбуждении.

При резонансном возбуждении в спектрах ФЛ наблюдается бесфононная линия (излучательная рекомбинация происходит без участия оптических фононов), сдвинутая на величину  $\Delta E$  от энергии лазера, и ее фононные повторения, смещенные в область меньших энергий на величину энергии одного ( $E_{lo}$ ) или нескольких оптических фононов. Понижение температуры приводит к увеличению стоксовых сдвигов ФЛ, причем увеличение сдвигов бесфононной (ZPL) и первой фононной линий (1PL) прямо пропорционально уменьшению отношения их интенсивностей, что находится в хорошем согласии с модельными предсказаниями (рис.4,б). Анализ данных, полученных при длительном (более 2 ч) непрерывном возбуждении, позволил оценить максимальную энергию полярона ( $E_p \approx 7$  мэВ) и количество участвующих в нем поверхностных спинов ( $\approx 60$ ) [17]. При этом оказалось, что критическая температура динамического формирования полярона (35 К) существенно превышает критическую температуру его термодинамического формирования (11 К).

Следует отметить, что при ориентации поверхностных спинов внешним магнитным полем их обменное поле будет играть роль внутреннего магнитного поля и влиять на зеемановское расщепление темного экситона, его поляризацию и скорость рекомбинации [22]. Как следствие, может наблюдаться немономонная зависимость степени циркулярной поляризации ФЛ от магнитного поля и даже изменение ее знака.

## Магнитный полярон на магнитных примесях

Метод резонансного возбуждения позволил также детектировать формирование экситонного магнитного полярона в нанокристаллах CdMnSe, легированных магнитными ионами  $Mn^{2+}$  [19]. Усиление обменного взаимодействия в нанокристаллах [26] создает благоприятные условия для спонтанного намагничивания спинов Mn и формирования коллективного экситонного магнитного полярона в нулевом магнитном поле (схема на рис.5 для  $B = 0$  Тл). Факт формирования регистрируется по сдвигу линии ФЛ от энергии лазера  $\Delta E$ , который

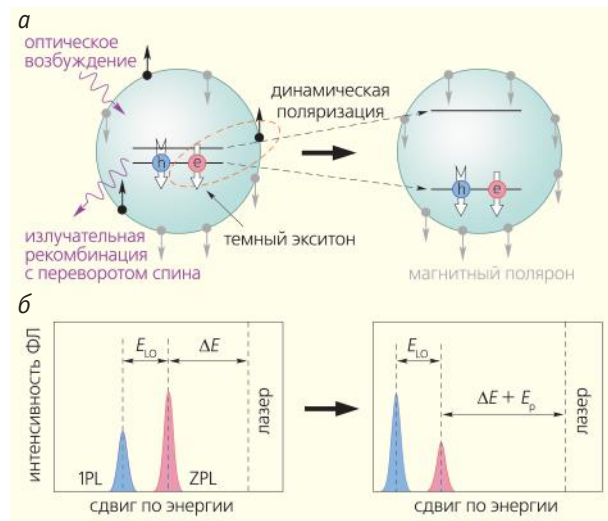


Рис.4. Формирование магнитного полярона на поверхностных спинах и его оптическое детектирование. Динамическая поляризация спинов на поверхности нанокристалла в процессе оптического возбуждения и излучательной рекомбинации темного экситона с одновременным перевертыванием спинов электрона и оборванной связи (а). Модификация спектра ФЛ при резонансном возбуждении в результате формирования полярона (б).

уменьшается с ростом магнитного поля — в силу ориентации спинов Mn внешним полем (рис.5) — и при повышении температуры. В исследованных нанокристаллах диаметром 5 нм с концентрацией Mn в 1.6% энергия экситонного магнитного полярона при температуре 1.8 К составила 26 мэВ, а обменное поле, создаваемое экситоном на Mn, достигало 10 Тл. При этом, в отличие от ранее наблюдавшихся поляронов в полумангнитных полупроводниках [32], магнитный полярон в нанокристаллах характеризуется полной поляризацией магнитных моментов Mn. От случая спинового полярона на поверхностных спинах в нанокристаллах, магнитный полярон в CdMnSe отличается тем, что его термодинамическое формирование происходит быстрее 100 пс, т.е. за время, меньшее времени жизни экситона. Такой полярон быстро и полностью разрушается после рекомбинации экситона.

### Фотолегирование, детектируемое по спиновым явлениям

Один из важных результатов нашей работы — предложенная и реализованная концепция фотолегирования сферических нанокристаллов и двумерных наноплателетов CdSe/CdS с толстой оболочкой одиночным электроном. Спонтанные процессы фотозарядки обычно не обеспечивают создания устойчивых структур с резидентными носителями, но приводят к нежелательным явлениям неустойчивости (мерцания) и деградации ФЛ. Однако оказалось, что в структурах с толщиной оболочки более 5 нм реализуется долгоживущая фотозарядка. Фотолуминесценция таких структур определяется рекомбинацией отрицательно заряженных экситонов, которая при низких температурах происходит гораздо быстрее рекомбинации темных экситонов и не зависит от магнитного поля. Эти свойства можно использовать как свидетельство фотозарядки. В исследованных нами структурах — сферических нанокристаллах и двумерных наноплателетах CdSe/CdS с большой толщиной оболочки — знак циркулярной поляризации в магнитном поле однозначно указывает на то, что долгоживущими резидентными носителями служат именно электроны [10, 11, 20].

В нанокристаллах без оболочки динамика фотозарядки может быть очень нетривиальной — в ней, как правило, задействованы несколько процессов, а иногда даже происходит смена знака резидентного носителя [18]. Сложность исследования фотозарядки заключается не только в установлении присутствия носителя в нанокристалле, но и в идентификации его знака (электрон это или дырка). Мы показали, что метод накачки—зондирования с регистрацией когерентной спиновой прецессии носителей в магнитном поле решает эти проблемы. Стандартная двухимпульсная методика (рис.3,з) была дополнена еще одним импуль-

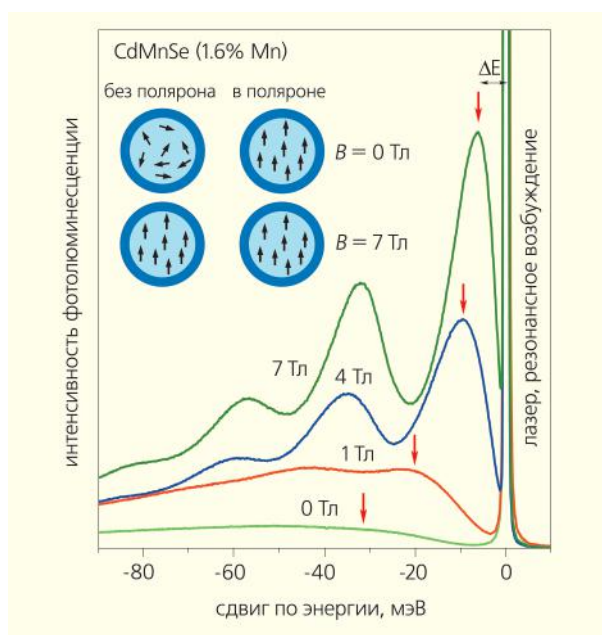


Рис.5. Магнитный полярон на магнитных примесях  $Mn^{2+}$  в нанокристаллах CdMnSe. Спектры ФЛ при резонансном возбуждении экситонов на энергии 2.11 эВ в различных магнитных полях. Температура 1.8 К. Красные стрелки показывают поляронный сдвиг.

сом — генерирующим фотоносителем, но не создающим спиновую поляризацию носителей [18]. Измерения нанокристаллов CdS диаметром 5.5 нм (рис.6,а), проведенные в растворе при комнатной температуре, показывают: частота спиновой прецессии меняется с ростом задержки после импульса, генерирующего фотоносителя. При задержке в 1 нс она равна 11.8 ГГц, что соответствует прецессии электрона в нанокристалле, т.е. свидетельствует о фотозарядке электроном. А при задержке в 33 мкс частота прецессии уменьшается до 11.2 ГГц, отвечающей прецессии электрона в положительно заряженном экситоне (это говорит о фотозарядке дыркой). Динамика фотозарядки, измеренная в большом диапазоне времен от 10 пс до 1 мкс (рис.6,б), показывает немонотонный характер процесса — начальный рост числа отрицательно заряженных нанокристаллов ( $P_n$ ) в ансамбле, сменяющийся их уменьшением и превалированием положительно заряженных нанокристаллов ( $P_p$ ).

\* \* \*

Коллоидные полупроводниковые нанокристаллы оказались отзывчивыми к экспериментальным методам, применяемым в спиновой физике полупроводников. Они демонстрируют богатый спектр спин-зависимых явлений, интересных как для фундаментальных исследований, так и для возможных применений, и стимулируют развитие новых теоретических моделей. К самым необычным и малоисследованным можно отнести эф-

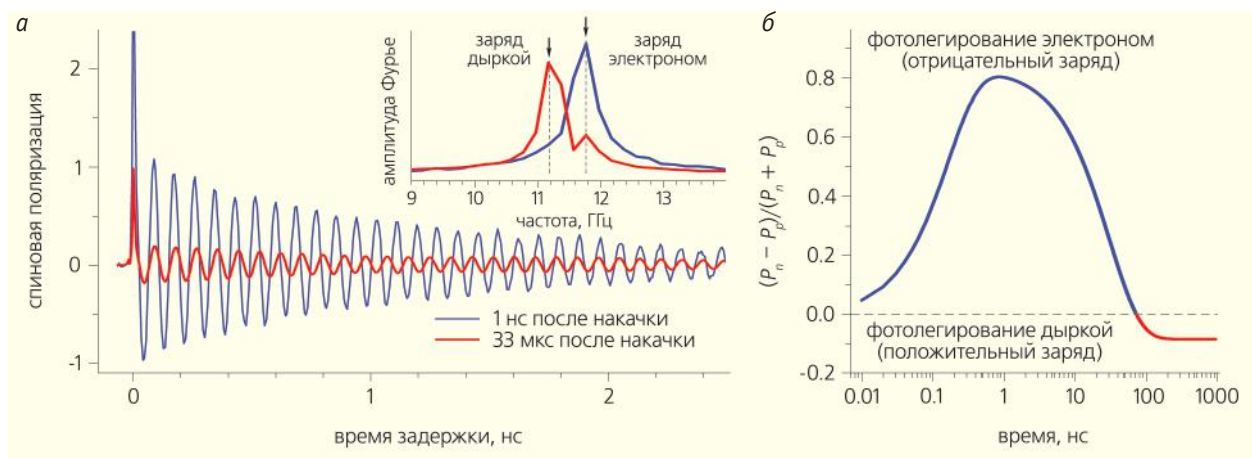


Рис.6. Динамика фотозарядки в нанокристаллах CdS по данным трехимпульсного метода накачки—зондирования. Спиновая прецессия в магнитном поле 0.43 Тл при комнатной температуре (а). Динамика разностного сигнала доли нанокристаллов, заряженных электронами ( $P_n$ ) и дырками ( $P_p$ ) (б).

фекты, которые связаны со спинами, локализованными на поверхности нанокристаллов. Функционализация поверхности нанокристаллов, позволяющая присоединять их в качестве маркеров

к органическим молекулам, широко используется в медицине и биологии. Несомненно, интересно добавить в эту концепцию спин и привлечь спин-спиновые взаимодействия. ■

Авторы благодарны всем коллегам, внесшим вклад в работы, представленные в этом обзоре. Особенно мы признательны Ал.Л.Эфросу, внесшему большой вклад в развитие теории экситонной физики коллоидных нанокристаллов, многолетнее сотрудничество с которым стимулировало и поддерживало наш интерес к этим исследованиям.

**Работа выполнена при поддержке немецко-российского центра ICRC TRR160 «Coherent manipulation of interacting spin excitations in tailored semiconductors», финансируемого Российским фондом фундаментальных исследований и немецким научным обществом Deutsche Forschungsgemeinschaft.**

## Литература / Reference

1. Reed M.A., Bate R.T., Bradshaw K. et al. Spatial quantization in GaAs—AlGaAs multiple quantum dots. J. Vacuum Science & Technology B: Microelectronics Processing and Phenomena. 1986; 4(1): 358–360.
2. Екимов А.И., Онущенко А.А. Квантовый размерный эффект в трехмерных микрокристаллах полупроводников. Письма в ЖЭТФ. 1981; 34(6): 363–366. [Ekimov A.I., Onushchenko A.A. Quantum size effect in three-dimensional microscopic semiconductor crystals. JETP Letters. 1981; 34(6): 345–349.]
3. Эфрос Ал.Л., Эфрос А.Л. Межзонное поглощение света в полупроводниковом шаре. ФТП. 1982; 16(7): 1209–1214. [Efros A.L., Efros A.L. Interband absorption of light in a semiconductor sphere. Soviet Physics Semiconductors USSR. 1982; 16(7): 772–775.]
4. Ekimov A.I., Efros A.L., Onushchenko A.A. Quantum size effect in semiconductor microcrystals. Solid State Commun. 1985; 56(11): 921–924.
5. Rossetti R., Nakabara S., Brus L.E. Quantum size effects in the redox potentials, resonance Raman spectra, and electronic spectra of CdS crystallites in aqueous solution. J. Chem. Phys. 1983; 79(2): 1086–1088.
6. Гросс Е.Ф., Каррыев Н.А. Оптический спектр экситона. ДАН СССР. 1952; 84(3): 471–474. [Gross E.F., Karryjew I.A. The optical spectrum of the exciton. Dokl. Akad. Nauk SSSR. 1952; 84(3): 471–474. (In Russ.)]
7. Гросс Е.Ф., Каплянский А.А. Спектроскопическое исследование поглощения и лиминесценции хлористой меди, введенной в кристалл каменной соли. Оптика и спектроскопия. 1957; 2(2): 204–209. [Gross E.F., Kapliansky A.A. A spectroscopic study of absorption and luminescence of cuprous chloride, introduced into a crystal of rock salt. Optika i Spektroskopiya. 1957; 2(2): 204–209. (In Russ.)]
8. Boles M.A., Ling D., Hyeon T. et al. The surface science of nanocrystals. Nature Materials. 2016; 15(2): 141–153.
9. Kovalenko M.V., Manna L., Cabot A. et al. Prospects of nanoscience with nanocrystals. ACS Nano. 2015; 9: 1012–1057.
10. Javaux C., Mabler B., Dubertret B. et al. Thermal activation of non-radiative Auger recombination in charged colloidal nanocrystals. Nature Nanotechnology. 2013; 8: 206–212.
11. Liu F., Biadala L., Rodina A.V. et al. Spin dynamics of negatively charged excitons in CdSe/CdS colloidal nanocrystals. Phys. Rev. B. 2013; 88: 035302(1–12).

12. Liu F., Rodina A.V., Yakovlev D.R. et al. Förster energy transfer of dark excitons enhanced by a magnetic field in an ensemble of CdTe colloidal nanocrystals. *Phys. Rev. B*. 2015; 92: 125403(1–17).
13. Siebers B., Biadala L., Yakovlev D.R. et al. Exciton spin dynamics and photoluminescence polarization of CdSe/CdS dot-in-rod nanocrystals in high magnetic fields. *Phys. Rev. B*. 2015; 91: 155304(1–17).
14. Rodina A.V., Efros ALL. Magnetic properties of nonmagnetic nanostructures: dangling bond magnetic polaron in CdSe nanocrystals. *Nano Letters*. 2015; 15: 4214–4222.
15. Rodina A.V., Efros ALL. Radiative recombination from dark excitons: Activation mechanisms and polarization properties. *Phys. Rev. B*. 2016; 93(15): 155427(1–15).
16. Rodina A.V., Efros ALL. Effect of dielectric confinement on optical properties of colloidal nanostructures. *ЖЭТФ*. 2016; 149(3): 641–655. [Rodina A.V., Efros ALL. Effect of dielectric confinement on optical properties of colloidal nanostructures. *JETP Letters*. 2016; 122(3): 554–566.]
17. Biadala L., Sbornikova E.V., Rodina A.V. et al. Magnetic polaron on dangling-bond spins in CdSe colloidal nanocrystals. *Nature Nanotechnology*. 2017; 12: 569–574.
18. Feng D., Yakovlev D.R., Pavlov V.V. et al. Dynamic evolution from negative to positive photocharging in colloidal CdS quantum dots. *Nano Letters*. 2017; 17: 2844–2851.
19. Rice W.D., Liu W., Pinchetti V., Yakovlev D.R. et al. Direct measurements of magnetic polarons in CdMnSe nanocrystals from resonant photoluminescence. *Nano Letters*. 2017; 17: 3068–3075.
20. Sbornikova E.V., Biadala L., Yakovlev D.R. et al. Electron and hole g-factors and spin dynamics of negatively charged excitons in CdSe/CdS colloidal nanoplatelets with thick shells. *Nano Letters*. 2018; 18: 373–380.
21. Sbornikova E.V., Biadala L., Yakovlev D.R. et al. Addressing the exciton fine structure in colloidal nanocrystals: the case of CdSe nanoplatelets. *Nanoscale*. 2018; 10: 646–656.
22. Родина А.В., Головатенко А.А., Шорникова Е.В., Яковлев Д.Р. Спиновая физика экситонов в коллоидных нанокристаллах. *ФТТ*. 2018; 60(8): 1525–1541. [Rodina A.V., Golovatenko A.A., Sbornikova E.V., Yakovlev D.R. Spin physics of excitons in colloidal nanocrystals. *Physics of the solid state*. 2018; 60(8): 1537–1553.]
23. Efros ALL., Rosen M., Kuno M. et al. Band-edge exciton in quantum dots of semiconductors with a degenerate valence band: Dark and bright exciton states. *Phys. Rev. B*. 1996; 54(7): 4843–4856.
24. Гупалов С.В., Ивченко Е.Л. Тонкая структура экситонных уровней в нанокристаллах CdSe. *ФТТ*. 2000; 42(11): 1976–1984. [Goupalov S.V., Ivchenko E.L. The fine structure of excitonic levels in CdSe nanocrystals. *Physics of the solid state*. 2000; 42(11): 2030–2038.]
25. Nirmal M., Murray C.B., Bawendi M.G. Fluorescence-line narrowing in CdSe quantum dots: Surface localization of the photogenerated exciton. *Phys. Rev. B*. 1994; 50(4): 2293–2300.
26. Merkulov I.A., Rodina A.V. Exchange interaction between carriers and magnetic ions in quantum size heterostructures. Introduction to the Physics of Diluted Magnetic Semiconductors. J.Kossut, J.A.Gaj (eds.). Heidelberg, 2010. 3: 65–101.
27. Norris D.J., Efros ALL., Erwin S.C. Doped Nanocrystals. *Science*. 2008; 319: 1776–1779.
28. Грабовских В.Я., Дзенис Я.Я., Екимов А.И. и др. Фотоионизация полупроводниковых микрокристаллов в стекле. *ФТТ*. 1988; 31(1): 272–275. [Grabovskis V.J., Dzenis J.J., Ekimov A.I. et al. Photoionization of semiconductor microcrystals in glass. *Sov. Phys. Solid State*. 1989; 31: 150.]
29. Johnston-Halperin E., Auschalom D.D., Crooker S. et al. Spin spectroscopy of dark excitons in CdSe quantum dots to 60 T. *Phys. Rev. B*. 2001; 63(20): 205309(1–5).
30. Sirenko A.A., Belitsky V.I., Ruf T. et al. Spin-flip and acoustic-phonon Raman scattering in CdS nanocrystals. *Phys. Rev. B*. 1998; 58(4): 2077–2087.
31. Gupta J. A., Awschalom D.D., Efros A. L. et al. Spin dynamics in semiconductor nanocrystals. *Phys. Rev. B*. 2002; 66(12): 25307(1–12).
32. Yakovlev D.R., Ossau W. Magnetic polarons. Introduction to the Physics of Diluted Magnetic Semiconductors. J.Kossut, J.A.Gaj (eds.). Heidelberg, 2010; 221–262.

## Spins in Semiconductor Nanocrystals

A.V.Rodina<sup>1</sup>, D.R.Yakovlev<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Ioffe Physical-Technical Institute, RAS (Saint Petersburg, Russia)

<sup>2</sup>Technical University of Dortmund (Germany)

Semiconductor colloidal nanocrystals with characteristic sizes of a few nanometers are important model objects for the investigation basic physical processes under strong size quantization of the electronic states. A variety of their shapes, sizes, chemical compositions and surface properties provides applications in optoelectronics, photovoltaics, biology, and medicine. Their spin properties remain weakly investigated, but already presented experimental and theoretical results confirm that the spin-dependent processes may strongly modify optical and magneto-optical properties of the colloidal nanocrystals and open new fields for their functionalization.

**Keywords:** colloidal semiconductor nanocrystals, spin-dependent phenomena, magneto-optics, exciton.



# Технические инновации и газодинамические исследования

Б.Б.Дьяков<sup>1</sup>, В.И.Кузнецов<sup>1</sup>, С.А.Поняев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Физико-технический институт имени А.Ф.Иоффе РАН (Санкт-Петербург, Россия)

На примере достижений лаборатории физической газовой динамики Физико-технического института имени А.Ф.Иоффе, руководимой лауреатом Ленинской премии профессором Ю.А.Дунаевым, хорошо видно, как фундаментальные исследования позволяют находить технические решения. Так были созданы теплозащитные покрытия обитаемых космических аппаратов и боеголовок ракет, термоэмиссионные преобразователи энергии и экспериментальные установки для испытания моделей космических аппаратов.

**Ключевые слова:** Физико-технический институт, Дунаев, газовая динамика, космонавтика, термоэмиссионные преобразователи.

Наш институт неслучайно имеет в названии слово «технический» — со времени своего основания он всегда находился в эпицентре разработок инновационной техники. И если работы ФТИ во многих областях науки и техники, например, по созданию полупроводниковой электроники широко известны, как и высокая оценка их вплоть до Нобелевской премии, то исторически сложилось, что вклад физтеховцев в ряде других областей физики и ее приложений знаком читателям значительно меньше. Постараемся частично восполнить этот пробел, рассказав о создании и достижениях лаборатории физической газодинамики.

## Аэрогазодинамика высоких скоростей

Число научных, производственных и инженерных организаций, которые прямо или косвенно создавали ракетно-космическую технику в СССР, сложно назвать точно. Роль же Физико-технического института имени А.Ф.Иоффе в этой сфере в открытой научно-технической литературе до



**Борис Борисович Дьяков**, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории физической газодинамики Физико-технического института имени А.Ф.Иоффе РАН. Область научных интересов — физика плазмы, история физики и техники, история научных учреждений.  
e-mail: Boris.Dyakov@mail.ioffe.ru



**Виктор Иосифович Кузнецов**, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, заместитель руководителя отделения физики плазмы, атомной физики и астрофизики того же института. Занимается физикой плазмы, термоэмиссионным преобразованием энергии.



**Сергей Александрович Поняев** — кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией физической газодинамики того же института. Специалист в области физики плазмы, плазмааэродинамики, электромагнитного ускорения тел.

недавнего времени освещалось весьма скупо. А ведь «Восток» Юрия Гагарина возвращался на Землю под защитой от теплового перегрева в плотных слоях атмосферы\*, разработанной в лаборатории физической газодинамики ФТИ, которой руководил Юрий Александрович Дунаев. Именно здесь был не только предложен надежный метод теплозащиты обитаемых космических аппаратов и боевых частей межконтинентальных ракет при спуске в плотных слоях земной атмосферы, но и создана технология нанесения теплозащитных покрытий.

Удивительно, что хотя эти исследования, как и вся наука газодинамика, были новым направлением для ФТИ, коллективу лаборатории понадобилась всего пара лет, чтобы предложить фактически новую идею и воплотить ее в работающих в космосе отечественных изделиях.

В чем тогда состояла проблема («проблема №1», как ее называли в официальных документах [1])? Когда баллистические ракеты начали преодолевать порог дальности в 1000 км и соответственно выросли скорости, с которыми они входят в атмосферу, перед разработчиками встала серьезная задача — защита от возникающих при этом тепловых перегрузок.

Уже для ракеты средней дальности Р-5 (1200 км) эта проблема стала актуальной. А для следующего носителя, рассчитанного на дальность 8000 км, сегодня известного как легендарная Р-7, она была критической. И решение требовалось, как всегда, в кратчайшие сроки. Для этого в ОКБ-1 под руководством С.П.Королёва был создан специальный проектно-конструкторский отдел по головным частям, а к сотрудничеству были привлечены многие научные организации страны, в том числе и ФТИ в Ленинграде.

Лаборатория, получившая номер 5 (первоначально не имевшая названия из-за требований секретности), была создана в институте в 1953 г. Ее возглавил доктор технических наук, профессор Юрий Александрович Дунаев — ученик А.Ф.Иоффе и непосредственный участник Атомного проекта СССР [2, 3]. Он также вошел в специально созданный совет при ОКБ-1 (руководители — академик Г.И.Петров и член-корреспондент К.Д.Бушув).

Перед лабораторией, в которой первоначально было пять человек, но которая быстро разраста-



Ю.А.Дунаев.

лась, стояли и теоретические, и методологические, и практические задачи. Требовалось понять, что происходит с головной частью, когда она входит в атмосферу со скоростью несколько километров в секунду (около 3 км/с для Р-5 и близко к 8 км/с для Р-7), какие температуры получаются при баллистических и космических полетах, и, конечно, создать метод защиты от тепловых нагрузок в несколько тысяч градусов, как было определено в одном из первых отчетов лаборатории, вышедшем в том же 1953 г. (рис.1). Этот отчет сохранил не только формулировку двух основных задач, поставленных перед лабораторией, но и список их исполнителей.

Существовавшие материалы не выдерживали тепловых нагрузок, и требовалось придумать что-то принципиально иное. Таким стал сам подход к теплозащите: вместо того чтобы повышать жаропрочность, Дунаев предложил «жертвовать» частью теплозащитного слоя. При движении головной части в атмосфере с высокой скоростью теплозащита сгорает, а потоки горячего газа уносят продукты сгорания, но при этом не взаимодействуют непосредственно с головной частью. Такой физический механизм теплозащиты, названный уносом массы, или абляцией, и был предложен лабораторией Ю.А.Дунаева совместно с другой лабораторией ФТИ, руководимой доктором химических наук А.П.Обуховым.

Для того чтобы такой метод работал, требовалось найти и соответствующий материал. Дунаев предложил композитный состав, состоящий из карбида кремния и бакелита (органической смолы). Карбид кремния эффективно поглощает тепло и тем самым не дает ему воздействовать на защищаемые части изделия. А бакелит, во-первых,

\* К 50-летию полета Ю.А.Гагарина. Участие ФТИ в создании ракетно-космической техники СССР ([www.ioffe.ru/HTML/about/k50.html](http://www.ioffe.ru/HTML/about/k50.html)).

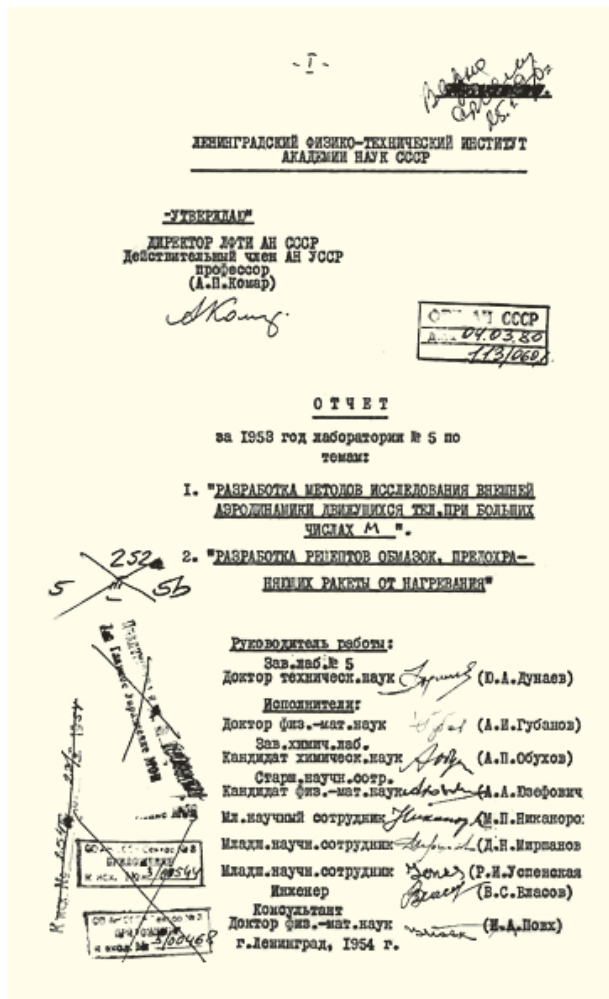


Рис.1. Титульный лист первого отчета лаборатории Дунаева.

«связывает» слои теплозащиты и, во-вторых, сгорая, способствует охлаждению с помощью «уноса массы» продуктов сгорания, имеющих к тому же колоссальную вязкость. В официальных документах такие покрытия получили обозначение «обмазки Дунаева», а в лабораториях Дунаева и Обухова были разработаны технологии их получения и нанесения на натурные изделия, а не только на экспериментальные образцы.

Именно благодаря этой защите 2 февраля 1956 г. ракета Р-5М впервые в мире пронесла через космос из Капустина Яра до ядерного испытательного полигона в Казахстане головную часть с боевым атомным зарядом. Преодолев 1200 км, она без разрушения успешно достигла цели, и заряд взорвался в заданной точке. Операция получила название «Байкал», и именно за ее успех главный конструктор Королёв был награжден своей первой звездой Героя Социалистического труда. Сотрудники Физтеха — участники работ — также были удостоены правительственных наград.

Другая сторона задачи по «устранению траекторных разрывов» при полете ракеты в атмосфере потребовала не менее глубоких и долгосрочных исследований, и одним из первых полученных результатов была новая форма «носка» ракеты (рис.2).

За Р-5М последовала Р-7, которая в 1957 г. вывела на орбиту первый искусственный спутник Земли, а в 1961 г. — первого космонавта планеты. Покрытия, разработанные в Физтехе, использовались и для запусков других отечественных обитаемых космических кораблей. Сразу после полета Юрия Гагарина в 1961 г. Дунаев в составе группы сотрудников ОКБ Королёва был удостоен Ленинской премии СССР с формулировкой «за разработку технологии высокотемпературных покры-

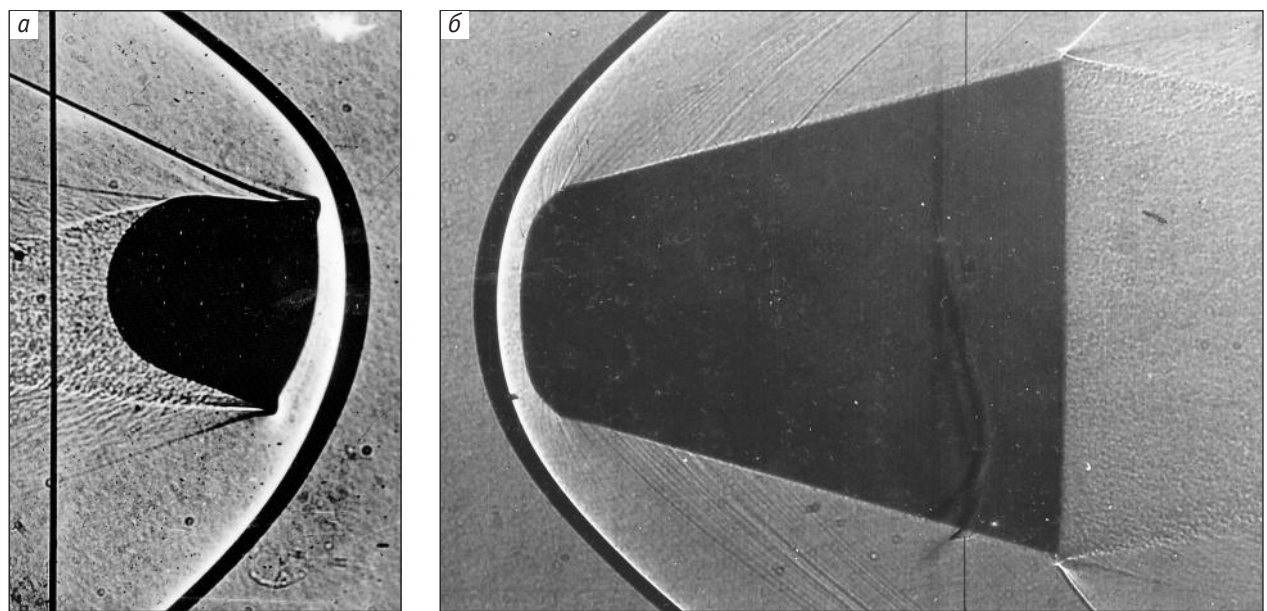


Рис.2. Картины обтекания моделей космического корабля «Союза» (а) и боевых частей ракет (б) при числе Маха М = 2.5.



тий для первых отечественных пилотируемых космических аппаратов», а его сотрудники — правительственных наград. Эти и другие достижения были отмечены также именными памятными медалями АН СССР.

Заметим, что еще в 1955 г. в ФТИ работала проверяющая комиссия Президиума АН СССР, которая в своем закрытом заключении отметила нетипичность и несвойственность задач лаборатории Дунаева традиционной тематике ФТИ. Но с присущей ученым дальновидностью рекомендовала не закрыть тематику и не перевести лабораторию в более подходящие по профилю учреждения, а... вернуться к данному вопросу после выполнения целей, поставленных перед ней. Следует ли говорить, что в результате последующих событий никакие комиссии к этому вопросу больше не возвращались? Но сами события десятилетиями не получали должного упоминания в открытой литературе. Поэтому участники работ и нынешний состав лаборатории глубоко благодарны академику Борису Евсеевичу Чертоку — автору многотомной истории космической эпопеи, напрямую рассказавшему о роли лаборатории в этой истории: «...Самую большую помощь нашим разработчикам головных частей (и не только королёвским, но и всем последующим) оказали сотрудники лаборатории физической газодинамики Ленинградского физико-технического института Академии наук. Еще в 1954 году ее руководитель — профессор Юрий Александрович Дунаев — получил соответствующим постановлением поручение разработать средства защиты боевой части нашей ракеты Р-5М (с атомным зарядом) от «воздействия внешнего потока воздуха». Многие работы ФТИ... были связаны с исследованиями в области ядерной физики, и поэтому режим закрытости по нашей тематике там был даже более жестким, чем в ОКБ-1, где реализовались предложения ФТИ. Непосредственную связь с лабораторией Дунаева осуществлял сам Королёв...» [4, с.385].

Лаборатория №5 продолжила исследования в области физической газодинамики. Менялся коллектив и руководители, расширялась тематика (в частности, в конце 1950-х — начале 1960-х годов). Дунаев возглавил в институте исследования по разработке новых источников энергии — магнетогидродинамических и термоэмиссионных, применимых и на Земле, и в дальних космических перелетах. Развитие же науки — физической газовой динамики — иллюстрируется созданием уни-

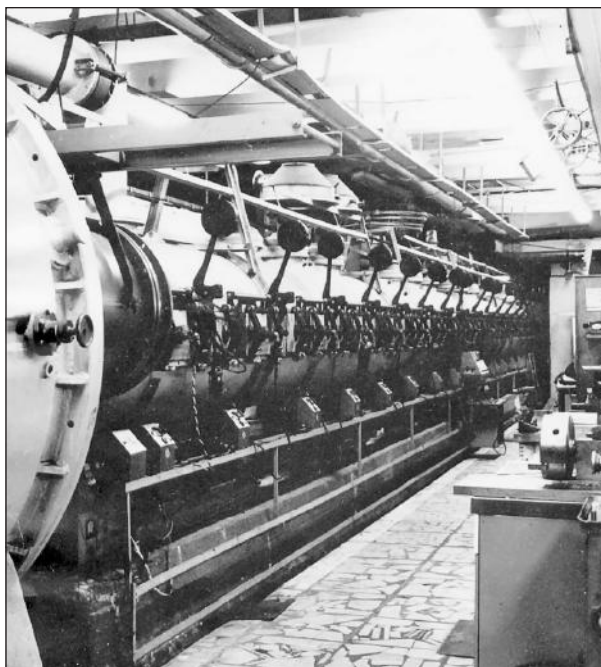


Рис.3. Большая баллистическая установка лаборатории.

кальной экспериментальной базы лаборатории (рис.3 и 4) и результатами (рис.2).

В настоящее время в лаборатории ведутся работы в разных областях современной аэродинамики и физики преобразования энергии. Аэродинамические исследования проводятся на экспериментальной базе, состоящей из ударных труб различных параметров [5]. По данной тематике в последние годы действуют две экспериментальные установки. Исследования захватывают новую и инте-



Рис.4. Малая баллистическая установка лаборатории.



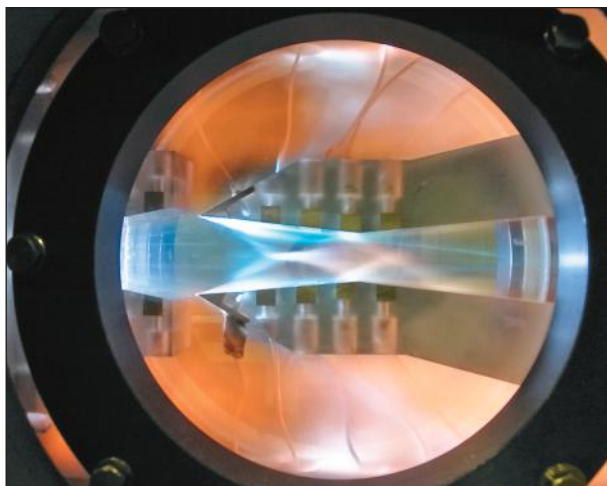


Рис.5. Сверхзвуковое течение плазмы ксенона во внешнем магнитном и электрическом полях. Хорошо видны присоединенные и отраженные ударные волны.

ресную область высокоскоростной аэродинамики, а именно плазмааэродинамику — изучение возможности с помощью внешних электрических и магнитных полей управлять течением в каналах, картиной обтекания тел и тепловыми потоками на их поверхности (рис.5) [6].

Решение задач по такому управлению позволит нам приблизиться к высоким скоростям полета для реальных летательных аппаратов, что с существующими в данный момент технологиями почти невозможно. При проведении работ идет развитие диагностической базы. Так, в содружестве с Санкт-Петербургским политехническим университетом Петра Великого испытан для применения на импульсных установках новый градиентный датчик теплового потока (ГДТП), который показал хорошие характеристики при работе в сильных электрических и магнитных полях. С его помощью можно определять значение теп-

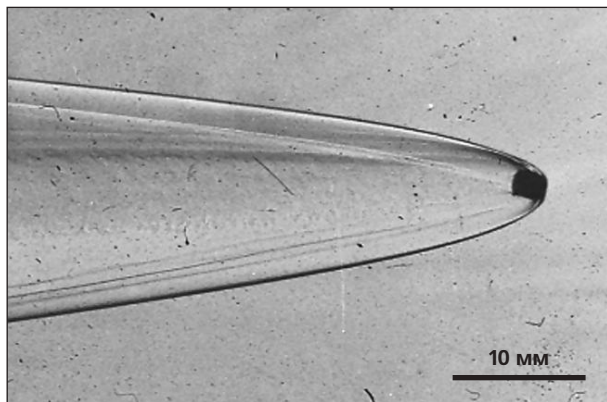


Рис.6. Картина полета кубика размером  $2 \times 2 \times 2$  мм, ускоренного в электромагнитном рельсовом ускорителе до скорости 5.7 км/с.

лового потока на поверхность модели при гиперзвуковом обтекании. В рамках проведенных исследований с использованием легкоионизирующихся модельных газов найдены режимы взаимодействия, при которых внешние электрическое и магнитное поля приводят к существенной перестройке течения в каналах, т.е. показана принципиальная возможность управления течением.

Другая тема, активно разрабатываемая сейчас в лаборатории, — это электромагнитное ускорение тел малой массы в электромагнитных рельсовых ускорителях. В таких устройствах непроводящее тело ускоряется с помощью плазменного поршня, который движется между двумя рельс-электродами под действием магнитного поля, сгенерированного протекающим через рельсы и плазменный поршень тока. Работы по такому способу ускорения тел были начаты в лаборатории с 1985 г. и постепенно развивались все последние годы. Сейчас у нас действуют два стенда с ускорителями тел для разных масс. На первом происходит ускорение тел размером от  $1 \times 1 \times 1$  мм до  $3 \times 3 \times 3$  мм с массой от 1 до 30 мг, при этом достигаемая скорость при атмосферных условиях составляет до 5.7 км/с (рис.6). На этом стенде за последние годы выполнен ряд работ по изучению высокоскоростного взаимодействия ударника с тонкими металлическими пластинами [7] и по моделированию активных космических экспериментов [8].

В целом фундаментальные исследования в этом направлении позволяют уточнять расчетные модели разрушения материалов, что важно с точки зрения создания надежных расчетных пакетов по динамике разрушения. Второй стенд, создаваемый в настоящее время, — это стенд для ускорения тел размером до  $1 \times 1 \times 1$  см и массой до 3 г. На этом стенде будут вестись исследования по ускорению как непроводящих тел плазменным поршнем, так и непосредственно проводящих тел, ускоряемых током через рельсы-электроды. Ожидается, что скорости ускоряемого тела превысят 2 км/с. Можно рассчитывать, что наши знания в областях высокоскоростного контакта металл—металл, электромагнитного ускорения, внешней баллистики высоких скоростей и, конечно, высокоскоростного соударения существенно расширятся.

Таким образом, и в современном мире лаборатория продолжает активно участвовать в актуальных исследованиях.

### Термоэмиссионное преобразование энергии

Работы по созданию термоэмиссионного преобразователя энергии (ТЭП), нагреваемого от ядерного реактора, в ФТИ начались в начале 1960-х годов в связи с идеей использования ТЭП на атомных подводных лодках для получения электрической энергии. К концу 1950-х годов в СССР уже

был создан эффективный источник тепловой энергии — ядерный реактор с выходными параметрами, удовлетворяющими требованиям ряда технических областей. Началось строительство атомных подводных лодок, на которых электрическую энергию предлагалось получать с помощью обычных турбогенераторов.

В отличие от турбогенератора в ТЭП осуществляется прямое преобразование тепловой энергии в электрическую, поскольку здесь нет ни движущихся элементов системы, ни промежуточных ступеней преобразования (например, фазовых превращений рабочего тела). Для подводных лодок отсутствие движущихся частей создает такие существенные преимущества, как компактность и малая шумность. Идею использования ТЭП на подводных лодках предложили офицеры-подводники, в то время — сотрудники Первого института ВМФ СССР (начальник инженер-вице-адмирал Л.А.Коршунов) М.Б.Барабаш и Г.А.Спиридонов. Тогдашний директор ФТИ академик Б.П.Константинов поддержал идею по созданию термоэмиссионных реакторов-преобразователей и предложил проводить соответствующие исследования и технические разработки в лаборатории физической газодинамики, руководимой Дунаевым. Для проведения работ в ней был создан сектор ТЭП, который возглавил Барабаш.

В ТЭП — устройстве на манер вакуумного диода — ток создается за счет эмиссии электронов с горячего эмиттера, а напряжение — за счет разности работ выхода эмиттера и коллектора. Чтобы увеличить проходящий ток, нужно компенсировать объемный заряд электронов, для чего используют ионы легкоионизирующихся веществ. Как правило, в межэлектродный промежуток вводят

пары цезия. Ионы образуются либо в объеме организации вспомогательного разряда, либо путем ионизации на поверхности эмиттера. В первом случае реализуется дуговой режим, во втором — бесстолкновительный (кнудсеновский). В дуговом режиме около 0.5 В теряется при получении ионов. В кнудсеновском же потеря в плазме нет.

Аналогичные работы проводились параллельно в ряде организаций СССР. Везде было принято решение использовать дуговой режим ТЭП. Все работы, касающиеся создания реактора-преобразователя на основе ТЭП, были засекречены. Сравнительно недавно имеющиеся материалы по данной проблеме стали доступны, и их анализ позволяет сделать небезынтересные выводы. В ФТИ первоначальной задачей стало поисковое проектирование полномасштабной электрогенерирующей установки с реактором-преобразователем для подводной лодки (август 1961 г.). План-график проведения исследовательских работ был подписан руководителями ведущих учреждений ряда союзных ведомств, включая АН СССР [9]. Возможно, столь высокий уровень инициаторов и позволил довести дело до опытных образцов. Первые успехи заинтересовали разработчиков космической техники: была сформулирована задача создания преобразователя для космической ракеты с ресурсом 17 тыс. ч.

Работы по созданию в ФТИ многоэлементного ТЭП с ядерным нагревом эмиттера иллюстрируются испытанным трехэлементным электрогенерирующим каналом (ЭГК) «Гвоздь» (рис.7), который монтировался на специальной штанге и устанавливался в петлевом канале реактора. Показаны только два ТЭП из трех, расположенных по высоте канала и соединенных в последовательную цепь. На рисунке можно увидеть все элементы ТЭП, включая



Рис.7. Схема трехэлементного ЭГК типа «Гвоздь», который монтировался на специальной штанге и устанавливался вертикально в петлевом канале реактора. Нижняя часть — продолжение верхней.

ядерное горючее, катод, межэлектродный зазор, анод, электроизоляцию анода, несущую трубку, зазор для прохода органического теплоносителя, чехлы, через которые проложены термопары для контроля температур ряда узлов ЭГК, и т.д. Предусмотрено отверстие, служащее для вакуумной откачки зазора и прохода паров цезия, имеется бакчок, предназначенный для накопления в нем возникающих в процессе реакторных испытаний ЭГК газообразных продуктов деления ядерного горючего в катодах.

Испытания полномасштабных ТЭП на реакторе ВВР-М проводились в г. Гатчине совместно с сотрудниками тогдашнего Гатчинского филиала ФТИ (теперь это Петербургский институт ядерной физики имени Б.П.Константинова НИЦ «Курчатовский институт»). Преобразователь работал в дуговом режиме на созданной специально для этой цели петле низкого давления с использованием двух сквозных каналов в бериллиевом отражателе с органическим теплоносителем под давлением 6 атм и при температуре 350°C. Испытания начались 18 июня 1962 г. и закончились в ноябре 1965 г. Руководил реакторными испытаниями В.А.Шустов при научном руководстве Ю.А.Дунаева. Первые успешные реакторные испытания многоэлементного ТЭП с ядерным нагревом эмиттера состоялись 2 июля 1962 г. [9]. Такое событие произошло впервые в нашей стране. В дальнейшем отрабатывались различные режимы функционирования, и по их результатам была достигнута стабильная удельная мощность порядка 2 Вт/см<sup>2</sup> на протяжении свыше 200 ч [10].

После 1965 г. реакторные испытания в ФТИ были завершены. Однако в других организациях СССР такие испытания были продолжены. В результате в 1987 г. термоэмиссионная ядерная энергетическая установка «ТОПАЗ» успешно отработала на орбите в составе советского космического аппарата «Космос-1867» в течение года.

После завершения работ, связанных с испытаниями термоэмиссионных реакторов-преобразователей, в лаборатории начались исследования процессов, протекающих в кнудсеновском режиме ТЭП. С физической точки зрения этот режим наиболее перспективен, поскольку именно в нем при высоких температурах эмиттера реализуются преимущества ТЭП как преобразователя тепловой энергии в электрическую и КПД преобразования оказывается более высоким, чем в дуговом режиме. На практике данный режим достигается при использовании Cs-Ba-наполнения. Компенсация объемного заряда обеспечивается за счет ионов цезия, образующихся на поверхности горячего эмиттера, а необходимая эмиссия электронов — благодаря адсорбции атомов бария на поверхности эмиттера и понижению его работы выхода. Для проведения физических исследований кнудсеновского режима в секторе был создан стенд, обеспечивающий вакуум не хуже 10<sup>-6</sup> тор,

экспериментальный прибор с изменяемым зазором, выбраны материалы деталей прибора, совместимые между собой и с Cs-Ba-средой, система регистрации вольт-амперных характеристик (ВАХ). Всеми физическими исследованиями руководил старший научный сотрудник ФТИ А.Я.Эндер [11, 12].

В дальнейшем экспериментально была достигнута удельная мощность 15 А/см<sup>2</sup> и КПД около 20% при температуре эмиттера 2300 К. Проведенные теоретические оценки показали, что кнудсеновский режим можно обеспечить при температурах эмиттера вплоть до 2600 К. При этом удельная мощность будет достигать 50 Вт/см<sup>2</sup>, КПД — 30% (рис.8), а температуру коллектора можно повысить до ≈1500 К [13]. Благодаря высокой оптимальной температуре коллектора удастся сильно уменьшить размеры холодильника-излучателя космической термоэмиссионной энергетической установки, где сброс отработанного тепла может быть осуществлен только излучением.

Высокая температура коллектора кнудсеновского ТЭП позволяет в наземных энергетических установках использовать тепло, сбрасываемое с коллектора, для дальнейшего преобразования в электрическую энергию, т.е. создавать двухкаскадные системы [14]. В качестве второго каскада можно, например, использовать бесшумный двигатель внешнего сгорания на основе цикла Стирлинга. Высокотемпературный ТЭП обеспечивает КПД 20–30%. КПД двигателя Стирлинга способен превысить 30%. В результате полный КПД двухкаскадного преобразователя должен составить 45–50%. Такой бесшумный источник электрической энергии может быть использован для энергообеспечения подводных лодок, а также в удаленных районах, поскольку он не требует подвоза топлива.

В лаборатории предложен проект энергетической установки на основе высокотемпературного Cs-Ba-ТЭП, в которой нагрев эмиттера осуществляется с использованием солнечной энергии. Для достижения высоких температур с КПД порядка 90% необходимо так сконцентрировать излучение, чтобы получить в 10 000–20 000 раз большую освещенность. С целью создания столь высокой концентрации мы предложили использовать двухступенчатый концентратор, состоящий из параболического зеркала и фокон<sup>\*</sup>, входное отверстие которого расположено в фокальной плоскости зеркала. Для расчета параметров такого устройства была разработана специальная компьютерная программа. Наши эксперименты подтвердили возможность нагрева эмиттера солнечным излучением с использованием только одного параболического

\* Фокон представляет собой зеркало специальной формы, у которого внутренняя поверхность образуется путем вращения куска параболы, наклоненного под определенным углом. Основная особенность фокон состоит в том, что он сильно увеличивает плотность солнечной энергии.



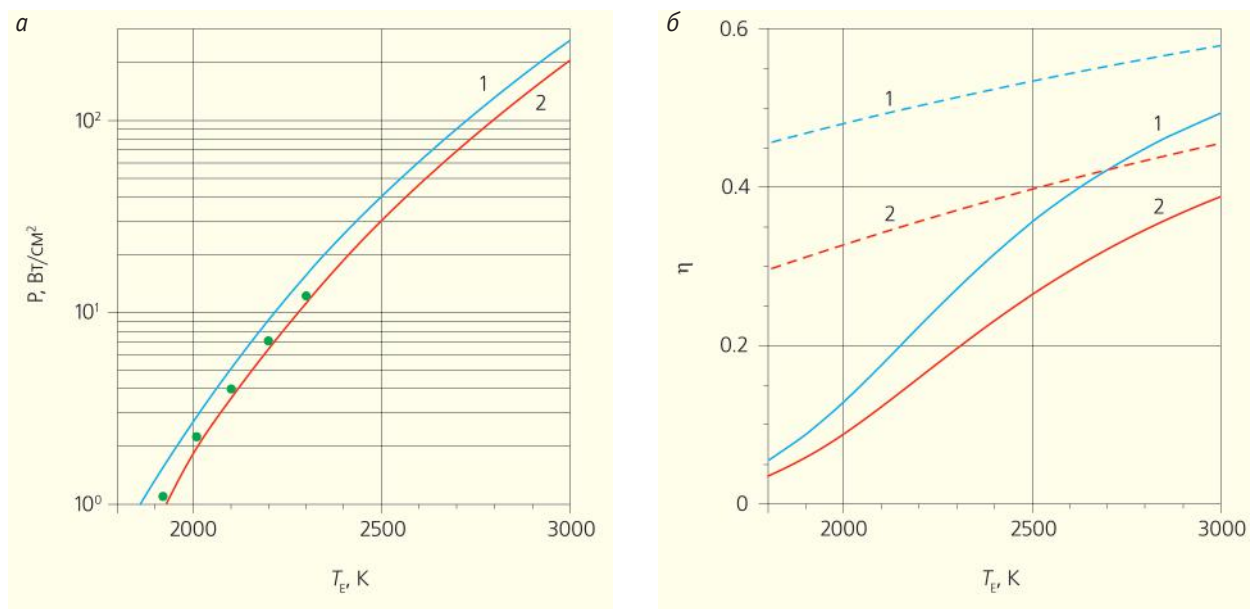


Рис.8. Теоретические зависимости максимальной удельной мощности (а) и КПД (б) от температуры эмиттера. Поток атомов цезия на поверхность эмиттера  $F_{Cs} = 10^{18} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$ ,  $d = 1 \text{ мм}$ , приведенная степень черноты пары эмиттер—коллектор  $e = 0.17$ . Кривая 1 — работа выхода коллектора  $\phi_c = 1.7 \text{ эВ}$ , 2 —  $2.2 \text{ эВ}$  (данные экспериментов в ТЭП с Cs-Va-наполнением).

зеркала до 1900 К. В экспериментах, проводившихся в США и Японии, с помощью двухступенчатого концентратора удалось достичь температур приемника 2400–2500 К.

Уже в первых экспериментах было обнаружено, что в кнудсеновском режиме ТЭП развиваются нелинейные колебания тока большой амплитуды, имеющие релаксационный характер. В лаборатории физической газодинамики экспериментально изучили влияние на колебания параметров диода, давления паров наполнителей, элементов внешней цепи, а также внешнего магнитного поля [15–17]. Согласно созданной теории нелинейных колебаний в кнудсеновском диоде, колебательный процесс состоит из чередования двух стадий: медленной и быстрой. На медленной стадии происходит перераспределение ионов в межэлектродном пространстве с характерным временем порядка среднего времени пролета ионов между электродами. В определенные моменты этой стадии в плазме возникают условия для возникновения электронной неустойчивости Бурсиана—Пирса. В ходе развития неустойчивости распределение потенциала в межэлектродном промежутке сильно изменяется (при практически неизменном распределении ионов), и происходит резкий обрыв тока. Это и есть быстрая стадия колебательного процесса, и протекает она за время порядка среднего времени пролета электронов между электродами. Обнаруженные нелинейные колебания в ТЭП носят универсальный характер и могут возникать в ограниченной кнудсеновской плазме при наличии пучка электронов независимо от способа

генерации ионов. Проведенные в ряде стран эксперименты на кнудсеновских диодах с поверхностной ионизацией подтвердили основные положения теории.

На основе данных об эффекте резкого обрыва тока, возникающего в результате развития неустойчивости Бурсиана—Пирса, в ФТИ были предложены два технических решения, позволяющие создавать генераторы переменного тока на основе термоэмиссионного диода:

- получать переменный ток повышенного напряжения непосредственно из ТЭП,
- преобразовывать постоянное напряжение в переменное без использования дополнительного внешнего управления в специальном диоде-модуляторе.

Работоспособность обоих устройств была подтверждена в экспериментах, получены патенты.

\* \* \*

Итак, в лаборатории физической газодинамики были выполнены исследования физических процессов в кнудсеновском плазменном диоде, позволившие получить ряд фундаментальных результатов в физике плазмы, а также создать ряд новых технических устройств. И если работы по ракетной теплозащите уже стали историей Физтеха, заняв в ней почетное место, то исследования по термоэмиссионным преобразователям энергии успешно продолжают, и в будущем мы рассчитываем создать новое поколение преобразователей тепловой энергии в электрическую, превосходящее другие подобные устройства по плотности энергии и КПД. ■



## Литература / Reference

1. Прудников И.С. Решение «проблемы №1». Авиация и космонавтика. 1994; 1–2. [Prudnikov I.S. Solving the Problem Number One. Aviation and Cosmonautics. 1994; 1–2. (In Russ.).]
2. Дьяков Б.Б., Студенков А.М. Юрий Александрович Дунаев. Научная биография, жизнь и судьба ученого. Воспоминания о прошлом. СПб., 2004. [Dyakov B.B., Studenkov A.M. Yurii Aleksandrovich Dunaev. Scientific biography, scientist's live and fate. Memories of the Past. SPb., 2004. (In Russ.).]
3. Алхазов Д.Г., Донской К.В., Журков С.Н. и др. Памяти Юрия Александровича Дунаева. УФН. 1975; 116: 169–170. [Alkhasov D.G., Donskoi K.V., Zburkov S.N. et al. Yurii Aleksandrovich Dunaev. Sov. Phys. Usp. 1975; 18: 389–390.]
4. Черток Б.Е. Ракеты и люди. Кн.4. М., 2006. [Chertok B.E. Rockets and People. Book 4. M., 2006. (In Russ.).]
5. Experimental Methods of Shock Wave Research. Shock Wave Science and Technology Reference Library. V.9. Berlin, Heilderberg, 2016. Doi:10.1007/978-3-319-23745-9.
6. Lapusbkina T.A., Erofeev A.V. Supersonic flow control via plasma, electric and magnetic impacts. Aerosp. Sci. Technol. 2017; 69: 313–320.
7. Poniaev S.A., Kurakin R.O., Sedov A.I. et al. Hypervelocity impact of mm-size plastic projectile on thin aluminum plate. Acta Astronaut. 2017; 135: 26–33.
8. Poniaev S.A., Kurakin R.O., Reznikov B.I. et al. Laboratory modelling of an active space experiment using railgun as a launch device. Acta Astronaut. 2017; 135: 63–68.
9. План-график по созданию опытного образца технологического канала реактора — термоэмиссионного преобразователя. Научный архив ФТИ. Ф.3. Оп.1. Д.3226. Л.1–3, 1960. [Timetable of the work on the fuel channel prototype of the thermionic conversion reactor. Scientific archive of the Ioffe Institute. F.3. I.1. Case 3226. S.1–3, 1960. (In Russ.).]
10. Кирсанов Г.А. Об испытаниях термоэмиссионных преобразователей энергии на реакторе ВВР-М. Реактору ВВР-М 50 лет. Сборник воспоминаний и научных статей. СПб., 2009; 247–248. [Kirsanov G.A. On thermionic energy converter tests in WWR-M reactor. WWR-M reactor 50th anniversary. Recollections and scientific papers. SPb., 2009; 247–248. (In Russ.).]
11. Эндер А.Я. Идеальный кнудсеновский термоэмиссионный преобразователь в поперечном магнитном поле. ЖТФ. 1970; 40 (3): 551–560. [Ender A.Ya. Collisionless thermionic converter in a transverse magnetic field. Sov. Phys. Tech. Phys. 1970; 15: 426–433.]
12. Бабанин В.И., Дунаев Ю.А., Мустафаев А.С. и др. Исследование ТЭП с Cs-Ba-наполнением в передокомпенсированном кнудсеновском режиме. ЖТФ. 1972; 42(8): 1662–1668. [Babanin V.I., Dunaev Yu.A., Mustafaev A.S. et al. Investigation of a thermionic converter filled with Cs-Ba under over-neutralized Knudsen conditions. Sov. Phys. Tech. Phys. 1973; 17: 1326–1332.]
13. Ender A.Ya., Kuznetsov V.I., Sitnov V.I. et al. Ultra-high temperature thermionic system for space solar power application. 11th Symp. on Space Nuclear Power and Propulsion. Albuquerque, USA. CONF 940101. AIP. 1994; 2: 861–867.
14. Ender A.Ya., Kolyshkin I.N., Kuznetsov V.I. et al. Cascaded space solar power system with high temperature Cs-Ba thermionic converter and AMTEC. STAIF-98, Albuquerque, USA. AIP Conf. Proc. 1998; 1565–1570.
15. Кузнецов В.И., Эндер А.Я. О нелинейных колебаниях в одномерной ограниченной кнудсеновской плазме. ЖТФ. 1977; 47(11): 2237–2246. [Kuznetsov V.I., Ender A.Ya. Nonlinear oscillations in an one-dimensional bounded Knudsen plasma. Sov. Phys. Tech. Phys. 1977; 22: 1295.]
16. Кузнецов В.И., Эндер А.Я. Особенности электронной стадии колебательного процесса в кнудсеновском диоде с поверхностной ионизацией. ЖТФ. 1981; 51(11): 2250–2259. [Kuznetsov V.I., Ender A.Ya. Electron stage of the oscillatory process in a surface-ionization Knudsen diode. Sov. Phys. Tech. Phys. 1981; 26: 1326–1332.]
17. Кузнецов В.И., Эндер А.Я. Расчет нелинейных самосогласованных колебаний в кнудсеновском диоде с поверхностной ионизацией. Исследование функции распределения ионов по скоростям. ЖТФ. 1983; 53(12): 2329–2338. [Kuznetsov V.I., Ender A.Ya. Calculation of nonlinear self-consistent oscillations and the ion velocity distribution function in a surface-ionization Knudsen diode. Sov. Phys. Tech. Phys. 1983; 28: 1431–1436.]

## Gasdynamic Researches and Technological Innovations

B.B.Dyakov<sup>1</sup>, V.I.Kuznetsov<sup>1</sup>, S.A.Ponyaev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ioffe Physical-Technical Institute, RAS (Saint Petersburg, Russia)

On the example of achievements of the Laboratory of Physical Gasdynamics of the Ioffe Physical-Technical Institute headed by Lenin Prize Winner, professor Yu.A.Dunaev it is clearly seen how fundamental researches allow finding technical solutions. Thus, heat-shielding coatings of manned space vehicles and rocket warheads, thermionic energy converters, and experimental setups for spacecraft models were created.

**Keywords:** Ioffe Physical-Technical Institute, Yu.A.Dunaev, gasdynamics, cosmonautics, thermionic converters.

# О теоретиках и теориях

М.Я.Амусья<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Физико-технический институт имени А.Ф.Иоффе РАН (Санкт-Петербург, Россия)

<sup>2</sup>Еврейский университет (Иерусалим, Израиль)

Кратчайший обзор того, что было сделано теоретиками ФТИ имени А.Ф.Иоффе за время его существования, приурочен к столетию института. Речь пойдет в основном о работах в области физики элементарных частиц, астрофизики, теории ядра и атомов. Получение важнейших научных результатов стало возможным благодаря тому, что в ФТИ работали выдающиеся теоретики. Высокий уровень исследований сохранялся несмотря на несколько массовых переездов теоретиков — то в Харьков, то в Москву, то за границу. О царившей в ФТИ атмосфере автор может свидетельствовать лично, поскольку работает в этом институте с 1958 г. И способен рассказать не только об исследовательской работе, но и о знаменитых Зимних школах физики и их культурных программах. Уделяется внимание и примерам исключительно успешного выхода теоретиков за рамки своей узкой специализации.

**Ключевые слова:** Физико-технический институт имени А.Ф.Иоффе, теоретическая физика, космический ма-зер, уровни Ефимова, межбололочные резонансы, атомная антенна, Зимняя школа физики.

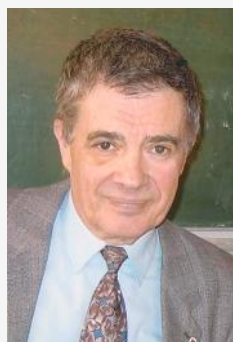
*Мальчики, за работу. Перерыв уже окончился!*  
Завотделом кадров. Год, эдак, 1963–1965

Теоретики среди физиков выделились в отдельное словосочетание довольно давно, административно образуя отделы, сектора, группы. В Физтехе у его основателя А.Ф.Иоффе теоретики с самого начала заняли достойнейшее место.

## Modus vivendi физиков-теоретиков

Чего от них хотели и хотят? Ведь физика — наука, в первую очередь, экспериментальная, а комбинация ее с техникой ведет, казалось бы, в сторону от абстракций и чистых размышлизмов. По счастью, так не случилось, и в Физтехе с самого начала наряду с теоретиками, обслуживающими определенную экспериментальную группу или лабораторию, были и те, кто занимался чем им угодно. Задача теоретиков всегда сводилась к объяснению эксперимента, предложению новых экспериментов (как сказал мне один экспериментатор: простых и способных быстро привести к славе) и обучению молодых и не очень молодых физиков этой самой физике, точнее, ее передовым в настоящий момент разделам.

Никто перед теоретиками не ставит задачи — открыть новый закон или создать новую теорию — в доме повешенного не говорят о веревке. Создание теории, равно как и открытие закона, — нечто подразумеваемое, как правило, несбыточ-



**Мирон Яковлевич Амусья**, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник Физико-технического института имени А.Ф.Иоффе РАН, профессор Еврейского университета (Иерусалим). Область научных интересов — общая теория многих тел, физика атома, ядра и конденсированного состояния.

e-mail: [miro.amusia@mail.ioffe.ru](mailto:miro.amusia@mail.ioffe.ru)

ная мечта, тот маршальский жезл, который в абсолютном большинстве случаев совсем без толку валется в походном ранце рядового солдата. Даже классные теоретики полагают, что работа, каждодневная и упорная, не должна определяться намерением сделать открытие. Изучение нового в своей области, исследование всего, что приходит в голову, разговоры с коллегами — чем больше, тем лучше, обучение других тому, что сам знаешь, и себя — незнакомому; все это должно приносить огромное удовлетворение, делающее даже каждодневную работу физика-теоретика интереснейшим занятием. А сознание того, что то, чем ты занимаешься, под силу очень немногим, позволяет относить себя к истинной элите общества — не чета всяким политикам и жуликам от бизнеса, нередко услужливыми СМИ причисляемым к элитам.

Вольное племя теоретиков всегда образовывало эдакого обобщенного кота, который неизменно не только «гулял сам по себе», но и указывал другим, притом не без успеха, где и как им предписывается «гулять». В целом лояльная к теоретикам

Первый вариант статьи см.: Семь искусств. 2017. №11(92).

© Амусья М.Я., 2018

администрация ФТИ периодически принималась как-то их ограничивать, подчинять формальной «трудовой дисциплине», заставлять «приходить на работу» к определенному часу, уходить после окончания «рабочего дня», брать своевременно отпуск. Тщетные усилия! Вольное племя было и остается вольным и не управляемым служебными административными вертикалями. В этом его сила и привлекательность.

Особенности деятельности теоретика вкупе с ощущением полной свободы, которую уже сами занятия теорией создают, определяют постоянный приток замечательной молодежи. Те же особенности приводят к кругу общения, состоящему в основном из интеллектуально просто выдающихся людей, не только физиков, но и литераторов, музыкантов, актеров. Неудивительно, что эта специальность не испытывала и не будет испытывать нехватки в талантливой, яркой молодежи.

На счет института уместно отнести и работы, сделанные вне его стен, уже после того как авторы ушли из ФТИ, где иногда и пробыли совсем немного времени. Что позволяет сделать открытие? Несомненно, в первую очередь — личный талант. Конечно же, и удача. О ней как о главном факторе успеха говорили, помню, на банкете, посвященном празднованию полувекового юбилея ФТИ, знаменитые теоретики — Я.Б.Зельдович, А.Б.Мигдал, В.Н.Грибов. Однако, как писал Д.А.Гранин в романе «Иду на грозу», «удача не приходит к тому, кто ищет ее вслепую».

Считаю, что даже за несколько лет работы среди коллег по ФТИ просто невозможно не испытать их совместного влияния, которое проявляется всю оставшуюся жизнь. Позволительно и предположение, что совсем неслучайно столько ярких жизненных линий пересеклись, пусть и в разное время, в одной точке пространства. Вполне правдоподобно, что это есть некая особая точка, психологическая пространственно-временная сингулярность. Вообще, время написания работ не определяет того, когда они зародились или, точнее, прирезались.

Я пришел в ФТИ 60 лет назад, в 1958-м. Замечу, что за эти годы несколько не вырос вверх (слава Богу!), но никто и ничто не мешало мне продвигаться вглубь. Никакими специальными архивными данными для написания этой статьи я не располагал. Предыдущие, до 1958-го, годы истории института знаю поэтому лишь из мемуарной литературы и по тем устным воспоминаниям, которые дошли до меня от знакомых.

## Питерская закуска

К концу 20-х — началу 30-х годов институт имел большую группу теоретиков, состоящую из талантливейших молодых людей. Главой коллектива был крупнейший физик-теоретик СССР Я.И.Френ-

кель — человек, знавший всю физику и успешно работавший во всех ее областях. Экситон, позитрон как электрон, движущийся вспять во времени, атомное ядро как капля обычной жидкости — всех его идей не перечислить.

Для меня до сих пор остается загадкой, почему он, крупнейший теоретик-ядерщик СССР, не был привлечен к атомному проекту, несмотря на его попытки принять в нем участие. Дефектами анкеты дело не объяснишь — уж до чего дефектна была анкета бывшего физтеховеца Ю.Б.Харитона, а он стал главой важнейшего направления всего проекта. Загадкой для меня остается и то, что Френкель, избранный членом-корреспондентом АН СССР в 1929 г., академиком так и не стал.

В Физтехе в конце 20-х — начале 30-х работали М.П.Бронштейн, Г.А.Гамов, Д.Д.Иваненко, В.А.Фок, зарубежным гостем был Р.Пайерлс (позднее сэр Рудольф, один из руководителей английского атомного проекта).

Отмечу, что теоретики, в первую очередь Френкель, имели тогда прекрасные зарубежные связи, были и становились известны за границей. Увы, вскоре ФТИ лишился своих блестящих, почти юных теоретиков: расстреляли Бронштейна, на Западе остался Гамов, в Харьков перебрался Ландау и, через тюрьму, Иваненко, сменил место работы Фок.

Самая важная теоретическая работа того времени — это капельная модель ядра Френкеля. На ее основе Н.Бор и Д.Уиллер описали процесс деления атомных ядер, происходящий подобно делению капельки обыкновенной жидкости. Очень важны модель Иваненко, согласно которой атомное ядро состоит из протонов и нейтронов, и количественная теория альфа-распада (т.е. вылета из ядра альфа-частиц — ядер гелия), созданная Гамовым.

Замечу, что до протон-нейтронной модели ядра физики безуспешно пытались построить ядро из протонов и электронов — единственных известных тогда элементарных частиц. Как только в 1932 г. Д.Чедвик открыл нейтрон, Д.Д.Иваненко и месяц спустя В.Гейзенберг предположили, что эта частица, хоть и нестабильная, представляет собой важнейший элемент ядер. Цепная ядерная реакция, по аналогии с химической, была примерно тогда же рассчитана бывшими сотрудниками ФТИ Зельдовичем и Харитоном.

К числу выдающихся, нобелевского уровня, работ, сделанных Гамовым вне Физтеха, отношу «горячую» модель Вселенной (1946) и предсказание наличия генетического кода (1954).

Начиная со Второй мировой войны фронт работ в области физики по всему миру начал быстро расширяться, что стимулировалось работами по созданию ядерного оружия. Это проявлялось и в увеличении числа физиков, и в строительстве многочисленных ядерных центров. В СССР уже с довоенного периода шло усиление столичной науки, росли старые и создавались новые физиче-



ские институты. Ряд теоретиков из ФТИ, в первую очередь таких ярких, как Я.Б.Зельдович, А.Б.Мигдал, И.Я.Померанчук, И.Е.Тамм и Г.С.Ландсберг, переехали в Москву. В столице еще с довоенного времени начал развиваться свою, основанную еще в Харькове и ставшую позднее всемирно знаменитой, школу теоретической физики Л.Д.Ландау.

## Новый призыв

В 1952 г. умер еще совсем молодым Френкель. «Откачка» работников временем и Москвой создала некий вакуум среди теоретиков в институте. Однако появлялись новые люди — с полуслова все понимающий И.М.Шмушкевич, осторожный в оценках Л.А.Слив, эрудит Л.Э.Гуревич, внешне странно ватый А.И.Губанов. Они начали создавать отдел (или «загон», если угодно) теоретиков. Загоном я его называю потому, что всех теоретиков разместили в нескольких небольших комнатках полуторного этажа главного здания ФТИ. Оно тогда еще не перешло почти в полное распоряжение служб и службочек, растущих куда быстрее научных коллективов института.

В конце 50-х, как проявление общей оттепели в стране, ослабли анкетные препоны, что в первую очередь сказалось на пополнении теоретиков. В ФТИ пришли А.З.Долгинов, В.Е.Голант, В.Н.Грибов, В.М.Шехтер, В.И.Перель, Г.М.Элиашберг, Д.А.Варшалавич, А.А.Ансельм, С.В.Малеев, Р.Ф.Казаринов, В.Г.Горшков и ряд других. Главным поставщиком молодежи служил, естественно, физфак ЛГУ, где отдел теоретической физики возглавлял Фок, сам «уроженец» Физтеха. И хотя общая формула Слива, согласно которой «в науку пошел середняк», правильна, молодыми теоретиками ФТИ стали отнюдь не только середняки.

Начали восстанавливаться порванные войной международные научные связи. Здесь первым стал Слив, у которого возникло заочное сотрудничество с Институтом Нильса Бора в Копенгагене, конкретно с Оге Бором (сыном Нильса, тоже будущим нобелевским лауреатом). Слив туда поехал, выслушал четыре лекции самого Бора по физике и понял, что тот никакой не законченный идеалист, а натуральный диалектический материалист. О своих находках Слив доложил на общеполитическом семинаре, полностью ошеломив слушателей.

Материальным результатом поездки Л.А.Слива в Копенгаген стал ответный визит Б.Моттельсона, будущего нобелевского лауреата. Он ознакомился с молодыми теоретиками, дав возможность каждому из них выступить перед ним с пятиминутным сообщением. По результатам этой беседы я получил за подписью Н.Бора приглашение провести год в Копенгагене. Не пустили, а письмо куда-то дели. Примерно через 10 лет, уже от О.Бора, сходное приглашение получил В.Н.Ефимов, но его

«силовики» буквально вывели из самолета. Я это пишу к тому, что злопамятность отнюдь не вреднее памяти короткой.

Иностранные теоретики были нередкими гостями в ФТИ. Упомяну лишь некоторых: нобелевских лауреатов П.А.М.Дирака, С.Томонагу, Ю.Швингера, Д.Бардина, О.Бора, а также известнейших профессоров У.Фано, Р.Пайерльса (сэра Рудольфа), Ф.Бёрка, Дж.Брауна, В.Грайнера.

Вспоминаю, как прямо на институтском семинаре Грибов с Дираком поспорили о знаке перед массой в уравнениях Дирака и Грибов выиграл спор! Оценивая уравнения Элиашберга в теории сверхпроводимости, Бардин поздравил Гуревича, отметив, что иметь такого сотрудника — честь. Как и до войны, теоретики ФТИ занимались практически всеми областями физики — от твердых тел, жидкостей, газов, плазмы до теории элементарных частиц и фундаментальных проблем строения Вселенной. Это удобно и полезно — иметь под одной крышей всех специалистов сразу. Можно, если возникает вопрос или идея, не рыться в литературе, не заглядывать даже во всезнающую Википедию, а просто позвонить приятелю и получить консультацию на самом высоком уровне.

## Результаты на весах времени

Грибов был, несомненно, самым ярким и влиятельным из молодых. Всемирную известность он приобрел за работы, которые можно называть реджистикой — по имени итальянского теоретика Т.Редже, первым исследовавшего амплитуду рассеяния как функцию углового момента, представляемого комплексной переменной. Но Редже изучал лишь нерелятивистский случай. Грибов привнес этот подход в физику элементарных частиц, смело предположив, что асимптотика амплитуды по энергии столкновения определяется первым полюсом Редже. Тогда надеялись, что асимптотика вот-вот будет достигнута на эксперименте. Оказалось, что это не так. Но реджистика стала важнейшим направлением в физике элементарных частиц.

По глубине знаний, кругозору, важности собственных работ, даже по внешности — в первую очередь, блеску глаз — Грибов казался реинкарнацией Ландау. Формула Грибова, связывающая сечение рассеяния пи-мезона на протоне  $\sigma_{\pi p}$  с сечением рассеяния пи-мезона на пи-мезоне  $\sigma_{\pi\pi}$  и протона на протоне  $\sigma_{pp}$  в пределе высоких энергий столкновений, — очень простое и красивое выражение:

$$\sigma_{\pi p}^2 = \sigma_{\pi\pi}\sigma_{pp}.$$

Она хорошо описывает экспериментальные данные даже в той области, где основания, приведшие к ее выводу, уже представляются несправедливыми. Такие формулы вполне могут высекаться на надгробных камнях — подобно выражению для энтропии на памятнике Л.Больцману.



В.Н.Грибов



Е.М.Левин

Грибов был абсолютным авторитетом в вопросах физики в ФТИ и далеко за его пределами, в том числе и вне рамок тех областей, где он непосредственно работал. Время, однако, безжалостный и объективный судья. Оно показало, что не все оценки Грибова, как и Ландау, пусть стремительные и четкие, были правильными. Так, оказалось, он зря отвергал работу Глинера (о ней речь пойдет дальше) и напрасно считал неравенства Белла, сейчас знаменитые, бессодержательными, а проверку квантовой механики с их помощью — ненужной.

Когда появилось представление о кварках как об основных элементах, из которых построены элементарные частицы, специалисты с опаской приспосабливались к этим новым объектам физики элементарных частиц. Однако два физтеховца — Е.Левин и Л.Франкфурт — подошли к делу просто. Они рассудили, что раз мезон состоит из кварка и антикварка, а протон или нейтрон — из трех кварков, сечения их взаимодействия с самими собой и другими объектами должны относиться соответственно как числа входящих в них компонент, т.е. как 2:3 [1].

Эти ставшие знаменитыми «две трети» и более сложные соотношения, полученные на основе столь простой картины, на удивление хорошо описывали реальность, хотя она, эта реальность, и оказалась куда сложнее картинки, согласно которой «элементарная частица» подобна тоненькой и ни на что не влияющей банке, в которой свободно болтаются кварки и антикварки. Предложенная метода завоевала широкое признание и получила название «кваркового счета».

В 1965 г. Э.Б.Глинер (в ФТИ с 1964 г.) впервые дал физическую интерпретацию космологической постоянной Эйнштейна и выдвинул гипотезу о природе Большого взрыва [2]. По Глинеру, вначале во Вселенной был вакуум, описываемый космо-

логической постоянной. Из первичного вакуума рождалось вещество, и оно расширялось под действием антигравитации вакуума. Так возникло наблюдаемое космологическое расширение.

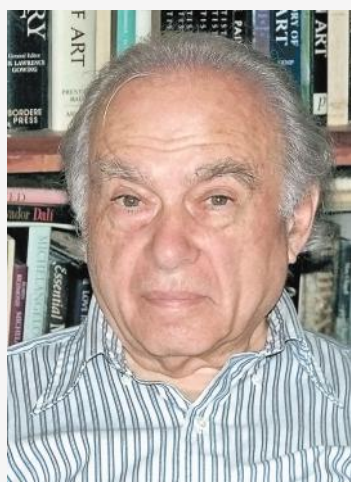
Эта работа стала важнейшей для понимания того, что происходило во Вселенной в первые мгновения ее существования. Она ввела в обиход космологии понятие отрицательного давления и в то же время позволила понять, почему не происходит коллапса системы «Вселенная» под действием обычных гравитационных сил.

Работу поддержал А.Д.Сахаров, что тогда было скорее отрицательным фактором, затруднившим защиту кандидатской диссертации, которую удалось

провести только в Тарту, а не в ФТИ. Известности работ Глинера способствовало энергичное развитие этой ветви космологии, которая связана с именами А.Гута и А.Д.Линде. Со временем Глинер был признан основоположником этого важнейшего направления. Однако это «со временем» надо было еще прожить. Глинер пришел в ФТИ после окончания ЛГУ, которому предшествовало участие в Великой Отечественной войне (заслужил ордена, был трижды ранен, потерял руку). Однако военные заслуги не защитили его от длительного заключения за «неправильные» разговоры.

Совсем уже немолодой, он оставался младшим научным сотрудником, что, помимо скромности зарплаты, задевало и самолюбие. Коллеги, за редким исключением, либо не могли помочь, либо стояли в стороне. Прав был В.Л.Гинзбург, написавший в УФН в 2002 г.: «Я считаю, что мы в большом долгу перед Э.Б.Глинером». О таких долгах стоит знать, равно как и помнить о них, чтобы не ошибиться в жизни. И каждый раз, когда мы встречаемся с «раздувающейся Вселенной», «инфляционной гипотезой», уместно помнить, что исходные идеи в этом направлении принадлежат Глинеру, живущему сейчас в США.

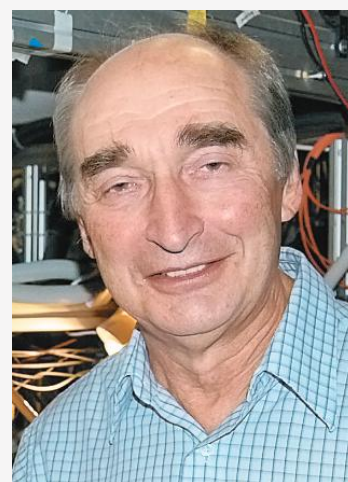
Очень яркая фигура среди теоретиков — Д.А.Варшалович, которого судьба и собственный интерес двигали из ядерной физики в астрофизику, оставляя на каждом шагу этого пути впечатляющие вехи. Так, он предсказал позднее обнаруженный эффект выстраивания спинов атомов, ионов и молекул в космической среде под влиянием резонансных анизотропных потоков излучения. Большой научной смелости требовала работа, показавшая, вопреки абсолютно устоявшимся представлениям, инверсную заселенность уровней возбуждения молекул в космической среде, которая оказалась гигантским мазером.



Э.Б.Глинер



Д.А.Варшалович



В.Н.Ефимов

Варшалович и его сотрудники, из которых особо упомяну молодого члена-корреспондента РАН А.В.Иванчика, нашли (по данным спектров удаленных космических объектов — квазаров) верхние на сегодняшний момент границы изменения во времени и пространстве постоянной тонкой структуры  $\alpha$  и отношение массы протона к массе электрона. Эти изменения составляют не более чем  $10^{-5}$ – $10^{-4}$  за все время, прошедшее после Большого взрыва, т.е. за примерно 14 млрд лет. Хотя и крайне малые, эти изменения, если их удастся обнаружить, станут важнейшими для построения всей физической картины мира.

В 1975 г. Варшаловичем с соавторами был опубликован трактат «Квантовая теория углового момента» [3]. Вскоре вышедший на английском, он стал настольным для множества теоретиков во всем мире. Авторы привели в единую систему и проверили огромное количество известных формул теории углового момента, а также добавили много новых.

О чем ни завести разговор с Варшаловичем, он всегда к нему готов. Обсуждаемый вопрос оказывается продуманным, а ответы заставляют во многом по-новому взглянуть на то, что обсуждается. Это проявление глубоких размышлений обо всем, что касается всей физики, а не только тех ее разделов, в которых он публиковался.

Природа создала гигантские, размером в километры, ядра наподобие атомных. Они состоят в основном из нейтронов и именуются нейтронными звездами. Спрашивается — а могут ли нейтронные звезды быть сверхтекучими? Помню споры на эту тему в 60-х и тогдашние выводы — сверхтекучесть возможна только в тонком поверхностном слое. Время разрешило эти споры. Было установлено, что нейтронные звезды сверхтекучи в объеме и сохраняют это свойство при весьма экзотических ус-

ловиях. В появлении этого ответа огромную роль сыграл физтеховец Д.Г.Яковлев с сотрудниками.

Важным направлением в работе теоретиков ФТИ была квантовая проблема трех тел. В этой области в 1970 г. В.Н.Ефимов обнаружил новый эффект, вскоре получивший его имя [4]. Оказалось, что в системе трех бозонов, взаимодействующих силами малого радиуса  $r_0$  с большой длиной рассеяния  $a$ , возникают специфические уровни энергии, от радиальной формы сил не зависящие. Их назвали «уровнями Ефимова». Число этих уровней  $N$  определяется замечательной по простоте и изяществу формулой

$$N \approx \frac{1}{\pi} \ln a/r_0,$$

а энергии следуют простому соотношению

$$E_n/E_{n+1} \approx \exp 2\pi.$$

Видно, что при нулевом радиусе действия сил ( $r_0 \rightarrow 0$ ) число уровней бесконечно ( $N \rightarrow \infty$ ). Но в природе нет примеров достаточно малых значений  $r_0$  и больших  $a$ .

Спустя более чем 40 лет после предсказания за дело взялась квантовая оптика. Регулируя частоту лазера, удалось изменять  $a$ , достигая при этом очень больших значений, положительных и отрицательных. Открылся целый «мир Ефимова», управляемый необычными законами.

Интересно прочитать очень эмоциональное сообщение о полном экспериментальном подтверждении факта существования связанных троек бозонов при крайне низких температурах [5]. Радиус такой тройки составляет тысячу атомных радиусов! В статье говорится даже о мистике числа три (притом знакомые по СССР «тройки» не упоминаются!): над открытием работали три группы в трех странах, изучая сплетение трех тел!



Подводя некий итог этой теме, в 2017 г. появилась статья о «физике Ефимова» [6], а в 2018 г. международная группа экспертов выбрала для первого награждения медалью Л.Д.Фаддеева — В.Ефимова «за теоретическое открытие ряда слабосвязанных трехчастичных квантовых состояний, известных как состояния Ефимова» и Р.Гримма из Австрии «в знак признания его новаторских экспериментов, подтверждающих эффект Ефимова».

## Сюрпризы взаимодействующих частиц и излучений

В конце 50-х — начале 60-х казалось, что все об аналитических свойствах амплитуд рассеяния разных частиц друг на друге как функции энергии столкновения хорошо известно: они содержат простые полюса и разрезы. Знание аналитических свойств амплитуды рассеяния позволяет строить дисперсионные соотношения, связывающие ее реальную и мнимую части. И получать тем самым различные измеряемые на опыте характеристики процессов рассеяния атомных ядер, да и более сложных объектов, из них состоящих, непосредственно, минуя разные модели. Казалось, что в этой области, если в качестве сталкивающихся частиц взять электрон и атом, уж точно ничего интересного не найдешь [7].

Однако учет обмена налетающего электрона с атомным и то, что между ними действуют кулоновские силы, полностью меняет аналитические свойства амплитуды. Вместе с М.Ю.Кучиевым мы показали в 1979 г., что амплитуда рассеяния электрона на атоме водорода  $f_{en}$  как функция энергии столкновения  $E$  имеет полюс третьего, а не первого порядка:  $f_{en}(E \rightarrow E_n) \sim 1/(E - E_n)^3$ , где  $E_n$  есть энергия связи атома водорода.

Еще более неожиданной оказалась ситуация для произвольного атома [8], где справедливым оказалось выражение

$$f_{eA}(E \rightarrow E_A) \sim (E - E_A)^{-2 + |E_A|/|E_n|}$$

с иррациональной сингулярностью! Здесь  $E_A$  есть энергия связи электрона в атоме-мишени.

Уже первые исследования взаимодействия лазерного излучения высокой интенсивности с атомами показали, что здесь играет роль какой-то неизвестный механизм. Он увеличивает вероятность многоэлектронной фотоионизации облучаемого атома на несколько десятков порядков по сравнению с ожидаемой из обычной теории. Интенсивному лазерному излучению удается удалить из атома электрон и в том случае, когда энергия одного лазерного фотона много меньше энергии, необходимой для ионизации атома.

Вскоре напряженность электрического поля лазерного излучения превзошла напряженность атомного. Это был важнейший рубеж в истории человечества, как в свое время первый ядерный

взрыв, оказавшийся «ярче тысячи солнц». Сейчас напряженности в лазерном поле уже на много порядков превосходят атомные.

Механизм взаимодействия низкочастотного излучения с атомами и любыми атомоподобными объектами (кластерами, фуллеренами, эндоэдрами) был открыт также Кучиевым [9]. Он обратил внимание на то, что ионизованный электрон, колеблясь в лазерном поле, приобретает энергию  $E$ , которая определяется соотношением

$$E \sim I/\omega^2,$$

где  $I$  есть интенсивность лазерного поля, а  $\omega$  — его частота. Уже для величины  $I$  порядка поля в атоме водорода, т.е.  $10^{16}$  Вт/см<sup>2</sup>, и энергии лазерного фотона в 0.1 эВ  $E$  достигает 2 МэВ. С этой энергией электрон, колеблясь относительно атома, из которого выбит, возвращается к нему. Такой электрон может выбить уже несколько электронов из атома или стать источником фотонов с энергией, многократно превышающей энергию лазерного фотона  $\hbar\omega$ . Сейчас данный механизм, называемый «обратным рассеянием», общепринят. Он уточняется, и в рамках основной идеи появляется целый ряд ответвлений. В данной области работает много исследователей. В целом «обратное рассеяние» служит для описания огромного экспериментального материала. Сам Кучиев сейчас работает в Сиднее, но по другой тематике.

## Коллективные усилия по коллективным корреляциям

Знаменитые уравнения Хартри—Фока (ХФ, вторая буква происходит от уже упоминавшегося физтеховца), описывающие состояние многоэлектронных атомов, выводятся исходя из требования обеспечить минимум энергии атома на базе его простейших волновых функций. Многие десятилетия они использовались как основные в расчетах структуры атомов и процессов, происходящих с их участием. Область применения уравнений выходит сейчас далеко за рамки физики атома.

Уравнения ХФ не просты в решении. Десятилетиями принималось приближение Хартри, предполагающее независимый от других электронов характер движения каждого электрона, а вопрос о величине и значимости поправок к этим уравнениям — «электронных корреляций» — практически не обсуждался.

Идеальным аппаратом для выхода за рамки ХФ служат общая теория многих тел и диаграммная техника. В атомах, равно как и в простых молекулах, неоднородность системы требует решения уравнений ХФ на компьютерах. В 1964 г. в ФТИ я начал работу по выяснению роли электронных корреляций в атомных процессах, в первую очередь в фотоионизации атомов и неупругом рассеянии быстрых электронов на них. Важнейшим



уточнением ХФ стало предложенное и разработанное нами приближение случайных фаз с обменом (ПСФО, или, в английской версии, — Random Phase Approximation with Exchange, RPAE). Постепенно была создана неформальная группа физиков, иногда доходившая до 25 человек. Их потребности в вычислениях обеспечивали программы, созданные одним программистом — доктором технических наук Л.В.Чернышевой — и образующие единый комплекс. Его современная версия приведена в книге [10].

С помощью этих программ были проведены расчеты, показавшие, что так называемый гигантский резонанс в сечении фотопоглощения ряда атомов есть коллективное возбуждение, в котором участвуют по меньшей мере все электроны ионизируемой многоэлектронной оболочечки. В 1972 г. были предсказаны позднее обнаруженные на опыте интерференционные межоболочечные резонансы, которые возникают благодаря взаимодействию электронов, принадлежащих разным оболочкам. Изучением их проявлений занялись в целом ряде атомных лабораторий мира. Было предсказано также существование поляризационного, или «атомного», механизма генерации электромагнитного излучения и многое другое. Основные наши результаты, полученные в многочастичной теории атомных процессов, приведены в книге [11].

Выше я упомянул о предсказанной Варшавовичем поляризации спинов атомов и ионов в космической среде. Оказалось, что спины фотоэлектронов, вылетающих из определенной оболочечки атома и под определенным углом, могут быть полностью поляризованы, даже если ни поток ионизирующих фотонов, ни атом-мишень избранным направлением спина не обладают. Этот эффект был предсказан, и следствия его обсуждены в работах Н.А.Черепкова [12]. Предсказание было подтверждено множеством опытов. Изучение поляризации фотоэлектронов стало одним из важнейших методов в исследовании структуры атомов и молекул.

Исследования многоэлектронных эффектов продолжаются и расширяются, включая новые эффекты в атомах и новые объекты исследования, куда теперь входят кластеры металлов, фуллерены и эндоэдры. Эти объекты во многих отношениях подобны атомам, только гигантским — имеющим сотни, а иногда и тысячи электронов. В то же время они обладают многими свойствами (например, гигантским резонансом в вероятности поглощения фотонов), характерными не только для атомов, но и для атомных ядер. Процесс фотоионизации исследуют теперь и с помощью лазеров, длительность светового импульса которых составляет всего  $10^{-17}$ – $10^{-18}$  с, что позволяет получить представление о протекании атомных процессов во времени. Примечательно, что для описания того, как процесс ионизации атомов разворачивается на временной шкале, используется наш комплекс вычислительных программ АТОМ-М.

## Физтеховские школы

Я говорил уже о том, что теоретику присуще желание самому учиться и учить других. Это желание привело к организации в 1966 г. Зимней школы физики ФТИ, тематика которой первоначально включала, помимо ядра и элементарных частиц, еще твердое тело и конденсированное состояние. Как Зимнюю школу по физике ядра и элементарных частиц ее «унаследовал» Ленинградский институт ядерной физики (позднее — ПИЯФ, затем обратившийся в часть Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»). Существовавшая более полувека, эта школа для своего описания заслуженно требует целой книги, которая, уверен, будет написана. Твёрдотельную часть — Международные зимние школы по физике полупроводников — продолжает проводить каждую весну ФТИ.

По широте и глубине охвата материала, по уровню лекторов — лучших научных работников СССР и позднее РФ, по остроте дискуссий, которые шли нередко далеко за полночь, эта школа, пожалуй, не имеет себе равных в мире. Особо стоит отметить труды школы, собравшие все ее лекции. Первоначально созданная для повышения научной квалификации экспериментаторов, она вскоре стала школой для всех научных работников.

Отличительная черта этой школы — использование части свободного времени для повышения образования ее участников в области литературы и искусства. Первые десятилетия школы совпали со временем, о котором говорили: «Что-то физики в почете, что-то лирики в загоне». И физики помогали вылезать из «загона», в котором, как я упоминал в самом начале этой статьи, сидели сами, что ценилось «лириками» высоко. А среди гостей-«лириков» бывали Георгий Товстоногов, Булат Окуджава, Александр Володин, Сергей Юрский, Кирилл Лавров, Николай Симонов — всех звезд не перечислить. Недавно напомнил Александр Сокуров, как он, еще почти никому не известный, показывал на школе свои фильмы — «Одиноким голос человека» и «Сонату для Гитлера» — и при этом явно нервничал.

Как-то Товстоногов, расчувствовавшись, пригласил всех к себе в театр. Приглашение мы приняли, и обе стороны долгие годы выполняли взятые на себя обязательства — Товстоногов обеспечивал билеты, а физики в пристойном числе ходили в театр. Стены залов и коридоров школы использовались для экспозиций работ художников, которые не имели никакого официального признания. Зато физики признавали их уже фактом приглашения к себе. Сейчас работы некоторых из гостей школы представлены в музеях и галереях мира. Это общение придавало Зимним школам дополнительную притягательность, которую не забыть. Теперь уже «лирики» в помощи физиков не нуждаются, да те вряд ли могут ее оказать.

## На чужих поприщах

Теоретиков отличает не только желание учить и учиться, но и стремление применять законы физики, известные им, а иногда и открываемые с их помощью, к изучению проблем в областях, на первый взгляд, прямо к физике не относящихся. Например, в медицине, экономике, политике. Приведу пару особо впечатливших меня примеров: работы В.Г.Горшкова по экологии и М.И.Дьяконова в области «квантового компьютеринга», точнее, его отрицания.

Горшков получил очень интересные результаты, иллюстрирующие важность сохранения окружающей среды, применяя к ее описанию довольно общие соотношения, полученные в физике. Он пришел к важному выводу об определяющем влиянии естественных экосистем (биоты) на поддержание параметров окружающей среды в пределах, допускающих само существование жизни на Земле.

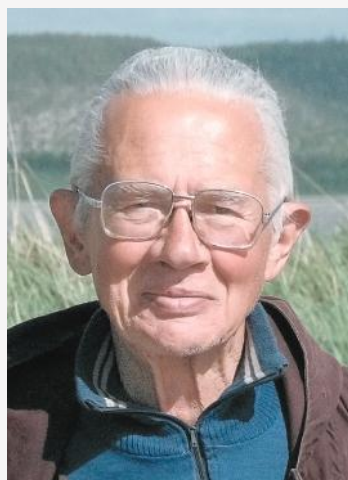
Я свидетель зарождения этого направления, неоднократно слушал доклады Горшкова и, не будучи его адептом, могу оценить, какую убедительность придают словам количественные оценки и расчеты, основанные на установленных законах физики.

Дьяконов, видный специалист по теории твердого тела, стал одним из наиболее убедительных противников «квантового компьютеринга». Его выступления против мейнстримного направления — это воплощение достойнейшего из принципов: «Иду на грозу».

Идея «квантового компьютеринга» восходит к работам Ю.И.Манина и Р.Фейнмана. Казалось, что на основе записи информации в виде суперпозиции состояний квантовой системы удастся несказанно повысить быстродействие и увеличить объем памяти компьютеров. Дьяконов же доказывает, что из-за неизбежных шумов в физических устройствах обещанная быстрота вычислений недостижима. Все знаменитые теоремы в этой области, отмечает он, основаны на аксиомах, в принципе нерализуемых в мыслимых физических устройствах.

Он анализирует причины невыполнения взятых на себя «компьютерным сообществом» временных обязательств и отмечает, что в рамках основополагающего в этой области алгоритма Шора, который должен был совершать чудеса в факторизации очень больших чисел, пока удалось лишь показать, что  $15 = 5 \cdot 3$  и  $21 = 7 \cdot 3$ !

Замечу, что те несколько статей Дьяконова на эту тему, которые я читал (например, [13]), впечатляют сочетанием научной строгости и литературного блеска.



В.Г.Горшков



М.И.Дьяконов

История теоретиков ФТИ была бы неполна, если не упомянуть два громких дела, М.П.Казачкова и Р.Ф.Казаринова, за которые все их коллеги были подвергнуты публичному шельмованию. Они были бы и коллективно наказаны, не вступив твердо сами за себя. Казачкова судили в 1975 г. и приговорили за измену родине к тюремному заключению сроком на 15 лет, которые он провел в тюрьме и лагере полностью. Поскольку его обвинили в передаче США секрета гамма-лазера, который не создан и по сей день, очевидно, что это обвинение было несостоятельно. Казаринов был лишен научных степеней и званий в том же 1975 г., поскольку его жена организовала у них на квартире выставку «незаконных» художников.

Обвинения были бы совсем курьезны, если бы не имели государственной силы и не стоили столько нервов «обвиняемым» и их коллегам. Здесь опять стоит упомянуть о злопамятности, которая в некоторых случаях полезней и умственной памяти короткой.

\* \* \*

Многое изменилось после 1958 г. в жизни теоретиков в ФТИ. Канул в прошлое «теоретический загон». Исчезли из коридоров второго этажа главного здания группы энергично жестикулирующих и громко спорящих молодых людей.

С глаз долой — из сердца вон. Коридор теперь выглядит гораздо лучше. Несколько теоретиков по-прежнему там, но уже в виде молчащих портретов на стенах. Немолчащих из «загона» в основном переместили в другое здание, в большие комнаты, которые выходят в новые коридоры. Ни нужды, ни охоты гулять в них нет.

В результате теоретики теперь не толкуются где попало, вызывая справедливое раздражение у со-

трудников отдела кадров и других очень важных отделов. Не знаю, как кому, но мне сегодняшний коридор теоретиков по ширине и уюту напоминает тот, что существует в «Крестах», хотя сам я там и не был. Впрочем, теоретик от таких мелочей зависит мало — он заражен желанием работать, устойчивым и тщательно сохраняемым в организме,

как вирус, например, герпеса. А потому дело шло, идет и будет идти всегда, что с этим ни делай, простите за невольный каламбур.

Нет, совсем неправ был Мефистофель, говоривший когда-то растлеваемому им студенту: «Теория, мой друг, суха». Приведенные выше результаты явно говорят об обратном. ■

## Литература / Reference

1. *Левин Е.М., Франкфурт Л.Л.* Гипотеза кварков и соотношения между поперечными сечениями рассеяния адронов при высоких энергиях. Письма в ЖЭТФ. 1965; 2(3): 65–67. [*Levin E.M., Frankfurt L.L.* The Quark hypothesis and relations between cross-sections at high energies. JETP Letters. 1965; 2(3): 65–67. (In Russ.)]
2. *Глинер Э.Б.* Алгебраические свойства тензора энергии-импульса и вакуумоподобное состояние вещества. ЖЭТФ. 1965; 49: 542–548. [*Gliner E.B.* Algebraic properties of the energy-momentum tensor and vacuum-like state of matter. Sov. Phys., JETP. 1966; 22(2): 378–382.]
3. *Варшалович Д.А., Москалев А.Н., Херсонский В.К.* Квантовая теория углового момента. Л., 1975. [*Kbersonskii V.K., Moskalev A.N., Varsbalovich D.A.* Quantum Theory of Angular Momentum. 1988.]
4. *Efimov V.* Energy levels arising from resonant two-body forces in a three-body system. Phys. Lett. B. 1970; 33: 563–564.
5. *Wolchover N.* Physicists Prove Surprising Rule of Threes. 2014. May 27.
6. *Naidon P., Endo S.* Efimov physics: a review. Rep. Prog. Phys. 2017; 80: 056001.
7. *Ландау Л.Д., Лифшиц И.М.* Квантовая механика. М., 1963. [*Landau L.D., Lifshitz E.M.* Quantum Mechanics. Non-relativistic Theory. 1965.]
8. *Kuchiev M.Yu.* The power-type singularity in the electron-atom scattering amplitude. J. Phys. B. 1985; 18(16): L579–L584.
9. *Кучиев М.Ю.* Атомная антенна. Письма в ЖЭТФ. 1987; 45(7): 319–321. [*Kuchiev M.Yu.* Atomic Antenna. JETP Letters. 1987; 45(7): 404–406.]
10. *Амусья М.Я., Семенова С.К., Чернышева Л.В.* АТОМ-М. Алгоритмы и программы для исследования атомных и молекулярных процессов. СПб., 2016. [*Amusia M.Ya., Semenova S.K., Chernysheva L.V.* АТОМ-М. Algorithms and programs for investigation of atomic and molecular processes. SPb., 2016. (In Russ.)]
11. *Amusia M.Ya., Chernysheva L.V., Yarzhemsky V.G.* Handbook of theoretical Atomic Physics, Data for photon absorption, electron scattering, and vacancies decay. Berlin, 2012.
12. *Черепков Н.А.* Угловое распределение фотоэлектронов с заданной ориентацией спина. ЖЭТФ. 1973; 65: 933–946. [*Cherepkov N.A.* Angular distribution of photoelectrons with a given spin orientation. Sov. Phys., JETP. 1974; 38(3): 463–469.]
13. *Dyakonov M.I.* State of the Art and Prospects for Quantum Computing. Future Trends in Microelectronics: Frontiers and Innovations. S.Luryi, J.Xu, A.Zaslavsky (eds.). 2013.

## About Theorists and Theories

M.Ya.Amusia<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Ioffe Physical-Technical Institute, RAS (Saint Petersburg, Russia)*

<sup>2</sup>*Hebrew University of Jerusalem (Israel)*

Dedicated to the centenary of the Ioffe Institute, the article contains the shortest review of scientific achievements of the theorists of the institute during this time. We concentrate mainly on research in the field of elementary particle physics, astrophysics, nuclear theory and atoms. To obtain very important scientific results became possible because outstanding theoreticians worked at this Institute. The high level of research persisted in spite of several mass moves of theorists — then to Kharkov, then to Moscow, then abroad. The author can testify to the atmosphere that reigned in the FTI in person, since he works at this institute since 1958. The article deals not only with research activity, but also with the famous Winter physics schools and their outstanding cultural programs. We present also examples of extraordinary successful activity of theorists far beyond the field of their narrow specialization.

**Keywords:** Ioffe Physical-Technical Institute, theoretical physics, space maser, Efimov levels, intershell resonances, atomic antenna, winter school of physics.



# Абрам Федорович Иоффе — первый директор Физтеха

кандидаты физико-математических наук Р.Ф.Витман<sup>1</sup>, Е.В.Куницына<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Физико-технический институт имени А.Ф.Иоффе РАН (Санкт-Петербург, Россия)

e-mail: revit@mail.ioffe.ru

Абрам Федорович Иоффе (1880–1960) — физик, организатор науки, первый директор Физико-технического института (ФТИ), который носит его имя. Академик (1920), вице-президент АН СССР (1926–1929; 1942–1945), заслуженный деятель науки РСФСР (1933), почетный член многих иностранных академий наук. Абрам Федорович окончил Технологический институт императора Николая I в Санкт-Петербурге (1902). Руководил физико-техническим отделом Государственного рентгенологического и радиологического института (1918–1922), был директором ФТИ (1922–1950), Агрофизического института (1931–1960), Института полупроводников (1954–1960). Основные труды — в области общей физики и физики твердого тела. Внес большой вклад в физику и технику полупроводников. Лауреат Сталинской премии (1942), Ленинской премии (1961, посмертно), Герой Социалистического Труда (1955). Кавалер трех орденов Ленина (1940, 1945, 1955), награжден медалями, в том числе медалью «За оборону Ленинграда» (1945).

**Ключевые слова:** Физико-технический институт, А.Ф.Иоффе, история науки.

ФТИ имени А.Ф.Иоффе традиционно отмечает свой юбилей 29 октября, одновременно с днем рождения Абрама Федоровича Иоффе — первого директора Физтеха. В 1918 г. по инициативе двух профессоров — М.И.Немёнова и А.Ф.Иоффе — в Петрограде был создан новый институт. По словам Н.Н.Семёнова, до 1917 г. в России не существовало ни одного научно-исследовательского института. Научная работа велась в небольших лабораториях Академии наук и на кафедрах высших школ [1, с.33]. Первое официальное сообщение о необходимости образования Государственного рентгенологического и радиологического института (ГРРИ) сделал нарком просвещения А.В.Луначарский 23 сентября 1918 г. на заседании Малой областной коллегии Народного комиссариата просвещения, и положительное решение было принято. Иоффе возглавил Физико-технический отдел ГРРИ, включающий также комиссию по изучению строения молекул, оптическое и радиологическое отделения (изначально были организованы два отдела — вторым, Медико-биологическим, руководил Немёнов). Согласно первому Уставу, руководители отделов были выборными директорами (президентами) института поочередно: Иоффе в 1918–1919 гг., Немёнов в 1919–1920 гг. С преобразованием отделов ГРРИ в самостоятельные институты 1 января 1922 г. Иоффе стал первым и до 1950 г. бессменным директором Физтеха.

Об Абраме Федоровиче Иоффе опубликовано много материалов, и трудно нарисовать его портрет более точно, чем это сделали его сотрудники, ученики, друзья и историки естествознания. Одна-



Абрам Федорович Иоффе.

ко исторические аспекты времени его директорства в Физико-техническом институте, масштаб его личности, дар предвидения в науке — все это вызывает неподдельный интерес снова и снова.

## Становление ученого

Абрам (Авраам) Иоффе родился 29 (17) октября 1880 г. в уездном городе Ромны Полтавской губернии в купеческой семье. Его родители уделяли много времени воспитанию пятерых детей и привили им литературный вкус с юных лет [2, с.5]. После окончания реального училища в 1897 г. Иоффе поступил в Технологический институт императора Николая I в Санкт-Петербурге — старейшее техническое высшее учебное заведение России (ныне — Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технологический университет)), куда принимали юношей вне зависимости от каких-либо ограничений. Летнюю практику Абрам проходил на Путиловском заводе и летом 1900 г. участвовал в установке ферм мостов, исполняя обязанности инженера [3, с.13].

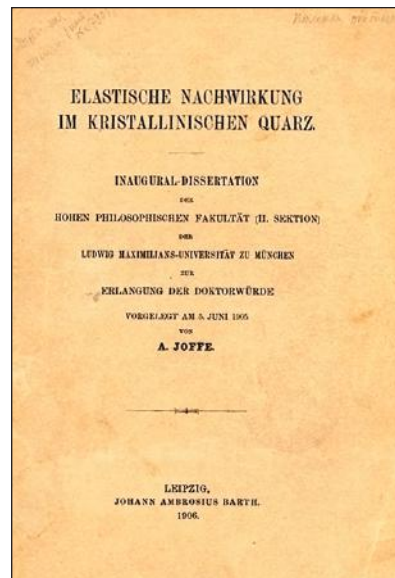
Успешно окончив институт, он по совету и с рекомендациями своего учителя профессора Н.А.Гезехуса\* в декабре 1902 г. отправился в Мюнхен, чтобы продолжить образование в лаборатории Вильгельма Рентгена в Физическом институте Мюнхенского университета. Под руководством Рентгена Иоффе проработал четыре года. С самого начала научной деятельности он проявлял интерес к строению атома (структуре вещества). Молодой сотрудник повторил ряд опытов Пьера Кюри и предложил прецизионный метод измерения количества тепла, выделяемого препаратом радия. В 1903 г. Иоффе открыл магнитную фокусировку электронов, но эти результаты не были опубликованы. Рентген зачислил Иоффе на должность приват-ассистента и предложил работать над диссертацией. Позже Иоффе писал: «...Рентген отметил мое уважение к опытному факту и точность измерения — наиболее ценные, с его точки зрения, свойства будущего физика» [4, с.10].

В 25 лет (в 1905 г.) Иоффе защитил диссертацию на степень доктора философии «Упругое последствие в кристаллическом кварце» с наивысшей оценкой «*summa cum laude*». Рентген предложил ему остаться в Мюнхенском университете в качестве профессора, но Иоффе принял решение вернуться в Россию, поблагодарив и ответив, «что его гражданский долг не позволяет ему дольше оставаться за границей, особенно в тот момент, когда его родина переживает тяжелое время» [2, с.23].

\* Николай Александрович Гезехус говорил тогда: «Рентген — не только рентгеновские лучи. Рентген — это первый экспериментатор Европы» [5, с.24].



Абрам Иоффе — студент Технологического института императора Николая I.



Титульный лист диссертации А.Ф.Иоффе на степень доктора философии, 1906 г.

В 1906 г. Иоффе поступил на должность лаборанта на кафедру физики (под руководством В.В.Скобелевича) Санкт-Петербургского политехнического института, с которым тесно будет связана вся его последующая жизнь.

В 1907–1912 гг. в Петербурге жил и работал всемирно известный ученый из Вены — Пауль (Павел Сигизмундович) Эренфест, который оказал большое влияние на развитие теоретической физики в России и на самого Абрама Федоровича. Иоффе принимал участие в работе физического кружка, организованного Эренфестом. Молодые физики собирались по воскресеньям либо у кого-нибудь на квартире, либо в одной из комнат Физического института Петербургского университета (втайне от директора института и заведующего кафедрой физики И.И.Боргмана [5, с.27]), а после отъезда Эренфеста из Петербурга в Лейден — поочередно: одно воскресенье в университете, другое — в библиотеке физической лаборатории Политехнического института. Этот кружок стал центром, из которого впоследствии вырос научный круг физтеховских ученых. Позже развитию плеяды физиков в нашей стране способствовала работа семинаров А.Ф.Иоффе и Я.И.Френкеля. Семинары Иоффе работали еженедельно.

В 1913 г. Иоффе начал читать лекции в Петербургском университете, в Политехническом и Горном институтах, на Высших курсах имени П.Ф.Лесгафта («Курсах воспитательниц и руководительниц физического образования»). Весной того же года он защитил в университете магистерскую диссертацию (диссертации, защищенные за рубежом, в российских вузах не принимались) по теме «Элементарный фотоэлектрический эффект. Магнитное поле катодных лучей. Опытное



В парке Политехнического института, под окнами квартиры А.Ф.Иоффе (корпус 1), около 1912 г. Слева направо: А.Ф.Иоффе, В.Р.Бурсиан, Г.Г.Вейхардт, М.В.Кирпичёва, П.С.Эренфест, Ю.А.Крутков, А.Н.Афанасьева-Эренфест, неизвестный, Л.Р.Степанова.



Семинар Иоффе, зима 1916–1917 гг. Стоят (слева направо): К.Ф.Нестурх, Н.И.Добро-нравов, П.И.Лукирский, А.Ф.Иоффе, Я.И.Френкель, П.Л.Капица, Н.Н.Семёнов. Сидят (слева направо): Я.Г.Дорфман, Я.Р.Шмидт, И.К.Бобр, М.В.Кирпичёва, А.П.Ющенко.

исследование», а 30 апреля 1915 г. (одновременно с Д.С.Рождественским) — диссертацию на соискание докторской степени с названием «Упругие и электрические свойства кварца», которую очень хвалил выступавший в качестве оппонента академик В.А.Стеклов. На выборах заведующего одной из двух кафедр физики Иоффе был забаллотирован, но даже обрадовался возможности уделять больше времени работе в Политехническом институте и прекратил чтение лекций в университете. Вместе со своим земляком С.П.Тимошенко Абрам Федорович организовал в Политехниче-

ском институте физико-механический факультет с новым для России подходом к физике и обучению. Факультет открылся в 1919 г. (уже после отъезда Тимошенко в Киев и его последующей эмиграции). Интересно, что Иоффе первым из профессоров привлек талантливых женщин (Я.Р.Шмидт, М.В.Кирпичёву, Е.П.Бутыркину и др.) к научной работе в своей лаборатории, добивался вселения студенток в общежитие, когда впервые разрешили их прием в Политехнический институт.

В то время Абрам Федорович уже был женат и имел маленькую дочь Валентину. Его жена, Вера Андреевна Иоффе (Кравцова), была дворянского происхождения, владела шестью иностранными языками. В 1919 г. Вера Андреевна окончила библиотечные курсы и заведовала библиотекой ЛФТИ в 1919–1927 гг., позднее служила в Публичной библиотеке.

### На заре новой эпохи

В 1918 г. началась новая эра физической науки в стране — Иоффе вместе с Немёновым основали ГРРИ. В самом начале работы института техническое оснащение в молодом коллективе физиков было весьма скромным. Физико-технический отдел ГРРИ не получил материальной базы при организации и «пользовался гостеприимством физической лаборатории Петроградского политехнического института, предоставившей отделу во временное пользование часть своих помещений и лабораторного

оборудования» [6, с.3]. Помощь в приобретении электротехнического оборудования была оказана со стороны заведующего Петроградским отделением Академического центра М.П.Кристи и со стороны Главэлектро.

Абрам Федорович тратил валюту, полученную в Наркомпросе, и деньги, заработанные им в Европе чтением лекций, на приобретение приборов для исследований. В 1921–1922 гг. он вошел в состав правительственной комиссии, которая заказала и закупила за границей оборудование для советских научных учреждений, в том числе для Госу-



дарственного физико-технического рентгеновского института (ГФТРИ), в который был преобразован Физико-технический отдел ГРРИ в 1921 г. В соответствии со штатным расписанием директором ГФТРИ стал А.Ф.Иоффе, его заместителем — А.А.Чернышёв, помощником — Н.Н.Семёнов, ученым секретарем — В.Р.Бурсиан. В феврале 1923 г. в письме к жене Иоффе писал, что на открытии нового здания института по адресу Дорога в Сосновку, д.2 (современный адрес: Политехническая ул., д.26) «все были поражены зрелищем совершенно оборудованного европейского научного института, чистого и изящного».

В 1922 г. Иоффе был избран председателем Российской ассоциации физиков и приступил к подготовке Четвертого съезда русских физиков (первые три съезда проходили в Петрограде (1919), Киве (1921) и Нижнем Новгороде (1922)). На этом съезде, в сентябре 1924 г. в Ленинграде, Abram Федорович сделал доклад «О связи физического исследования с задачами техники». Его основная установка — «физика как основа будущей техники» — воспринималась в 1920–1930-х годах как научная фантастика.

В первой половине XX в. одной из наиболее представительных научных конференций в мире был Сольвеевский конгресс. Институт в Брюсселе, организованный на деньги бельгийского химика Сольве, собирал ведущих ученых ежегодно. Первый раз приглашение принять участие в конгрессе Иоффе получил в 1925 г. — его доклад был посвящен электропроводности кристаллов. Впоследствии Abram Федорович занимался подготовкой Сольвеевских конгрессов совместно с Н.Бором, А.Эйнштейном, О.Ричардсоном, Т.Дондером, П.Ланжевром, П.Дебаем, Б.Кабрерой.

В 1927 г. Иоффе читал лекции по физике кристаллов в Массачусетском технологическом институте в Бостоне и затем курс в Калифорнийском университете в Беркли. По материалам этих лекций издательство «Mc Graw-Hill Book Co.» опубликовало книгу «Физика кристаллов» под редакцией Леонарда Б.Лёба\*. Калифорнийский университет присудил Иоффе степень почетного доктора прав, что было событием нечастым.

\* *Ioffe AF. Physics of Crystals / Ed. L.B.Loeb. N.Y.; L., 1928.*

## Школа «папы Иоффе»

Abram Федорович считал крайне важным для ученых общение с коллегами и совместную работу на международном уровне. Он способствовал поездкам молодых сотрудников за границу, помогал им в этом своими международными контактами и личными валютными средствами. Несколько лет провели в Кембридже К.Д.Синельников и Ю.Б.Харитон, в Лейдене — Л.В.Шубников и О.В.Трапезникова, в Копенгагене — Г.А.Гамов и Л.Д.Ландау, в Гёттингене — В.Н.Кондратьев и Ю.А.Крутков. В 30-х годах в ЛФТИ были организованы группы по изучению иностранных языков. Иоффе выписывал из-за рубежа научную литературу, которая поступала в библиотеку института.

Иоффе интуитивно, во многом благодаря своей широкой научной эрудиции и полученному в Европе опыту научной работы, не только выбирал самые перспективные направления исследований, но и находил для этих исследований молодых, увлеченных наукой людей. Так, с семинара в ЛПИ и первых лабораторий Физтеха начина-



Иоффе с сотрудниками, Гёттинген, 1926 г. Слева направо: А.Ф.Иоффе, А.Н.Арсеньева, П.И.Лукирский, А.Р.Бурсиан, предположительно Д.Д.Иваненко, Л.В.Шубников, неизвестный.

лась научная школа «папы Иоффе». Первая волна ученых из этой школы — П.Л.Капица, Н.Н.Семёнов, Я.И.Френкель, Н.И.Добронравов, П.И.Лукирский, Я.Г.Дорфман, Л.Д.Ландау. Затем, к середине 20-х годов, выросла новая плеяда исследователей: И.В.Курчатов, Ю.Б.Харитон, К.Д.Синельников, В.Н.Кондратьев и др. Из стен Физтеха вышли ученые, известные впоследствии во всем мире. Интересно, как Абрам Федорович формировал научную среду: «Каждый молодой физик обязан был еженедельно заходить к нему, приносить аннотации прочитанного за неделю и кратко излагать почерпнутые сведения. Карточки с аннотациями Иоффе бережно хранил у себя. Сотрудники обязаны были ежедневно бывать в библиотеке, просматривать журналы, на страницах которых они постоянно находили надписи, сделанные рукой Абрама Федоровича: “Курчатову”, “Александрову”, “Кобецко”... Попробовал бы кто-нибудь не прочесть статей, адресованных Абрамом Федоровичем! Последовало бы весьма неприятное объяснение... Дружба, взаимопомощь — основной стиль работы института. Учили друг друга физике. Приборов было мало, и тонкое рукоделие ценилось наравне с глубиной и стройностью мысли» [7, с.20].

По словам одного из первых учеников Иоффе — будущего нобелевского лауреата академика Семёнова, Абрам Федорович полагал, что требования к руководителю чрезвычайно просты и ясны:

«Подбирай по возможности только способных, талантливых учеников, притом таких, в которых видно стремление к научному исследованию.

В общении с учениками будь прост, демократичен и принципиален. Радуйся и поддерживай их, если они правы, сумей убедить их, если они не правы, научными аргументами. <...>

Никогда не приписывай своей фамилии к статьям учеников, если не принимал как ученый прямого участия в работе. <...>

Не увлекайся чрезмерным руководством учениками...» [8, с.10].

## Круг интересов

Основные научные проблемы, которые интересовали Абрама Федоровича и разрешению которых, по его словам (из автобиографии), была посвящена главная часть научной деятельности, это механические свойства твердых тел, электрические свойства твердых изоляторов, электроны и световые кванты, проблемы новой техники. В дальнейшем его научные интересы были связаны с термоэлектричеством, что привело в военные годы к серьезным успехам в этой области.

Иоффе первым в стране начал изучать электрические свойства полупроводников. Уже в начале 1931 г. в журнале «Социалистическая реконструкция и наука» вышла его статья «Полупроводни-

ки — новый материал электроники»\*, где он, в частности, писал о широких перспективах применения твердых фотоэлементов и рациональных методах превращения солнечной энергии в электрическую. Вскоре Иоффе создал в ЛФТИ полупроводниковую группу. Почти через 25 лет после начала работ, в 1955 г., Иоффе обобщил результаты в этой области в книге «Полупроводники в современной физике». Современным ученым хорошо знакомо последующее ее дополненное издание «Физика полупроводников», которое дает уникальный объем знаний. В лаборатории Иоффе в 1950 г. был сделан первый термоэлектрический полупроводниковый холодильник. Вот как Абрам Федорович формулировал задачи коллектива лаборатории полупроводников на заседании ученого совета лаборатории 13 ноября 1952 г.: «Основная задача лаборатории — развитие применений термоэлектрических элементов и их теории... Расширение рабочего температурного диапазона применяемых веществ в область низких и высоких температур... Расширение круга применяемых веществ... Всестороннее исследование электрических и тепловых свойств этих веществ... Необходимо расширить работу по разработке рациональной технологии изготовления термоэлементов и работу по рациональному теплотехническому конструированию систем в целом».

В 1956 г. Иоффе опубликовал монографию «Полупроводниковые элементы», где была изложена разработанная им теория термоэлектричества. Тогда эти исследования были настолько передовыми, что даже слово «полупроводники» было незнакомо широкой публике. Еще в 1955 г., когда по инициативе Абрама Федоровича велась подготовка Первой международной конференции по полупроводникам, диктор на Московском вокзале «категорически отказывалась произносить объявление о сборе прибывающих на конференцию полупроводников, усматривая в тексте подвох» [9, с.202].

Будучи директором, Иоффе поддерживал исследования по ядерной физике в институте. Можно с уверенностью сказать, что работы по данной тематике проводились в Физтехе уже в 20-е годы (работы Д.В.Скобельцына, относящиеся к физике космических лучей). Абрам Федорович интересовался всеми достижениями ядерной физики, регулярно выступал с лекциями и обзорами научной литературы в этой области, способствовал проектированию и строительству циклотрона ФТИ. Как писали В.Я.Френкель и Н.Я.Московченко, «Иоффе определял и масштаб работ по ядру — сначала в стенах ФТИ, а затем, через Академию наук и соответствующую ее комиссию, — по стране в целом» [10, с.9].

В 1932 г. Иоффе возглавил ядерную группу ЛФТИ. Он был одним из инициаторов проведения

\* *Иоффе А.Ф.* Полупроводники — новый материал электроники // Сорена (Социалистическая реконструкция и наука). 1931. Вып.2–3. С.108.

конференций по ядерной физике, первая из которых прошла в Физтехе в сентябре 1933 г., и пригласил П.Оже, П.Дирака, супругов Кюри, В.Паули и других выдающихся зарубежных физиков для участия. Абрам Федорович способствовал приезду Н.Бора в СССР (сохранились письма Иоффе к Бору, где обсуждаются проблемы физики ядра [11, с.35]).

Абрам Федорович был уникальным человеком: помимо таланта физика и организаторских способностей он обладал государственным мышлением. Дар предвидения и талант организатора науки — все это позволило ему создавать научные центры по всей стране, начиная с 1927 г., когда рядом с Физтехом был организован Центральный котлотурбинный институт имени И.И.Ползунова (Политехническая ул., д.24). Новых институтов в СССР было создано не менее 13 еще при жизни Абрама Федоровича, среди них Сибирский ФТИ в Томске (1928), Украинский ФТИ в Харькове (1930), Среднеазиатский гелиоцентрический институт в Самарканде (1931), Уральский ФТИ в Свердловске (1932, первое время располагался в стенах ЛФТИ), Институт агрофизики в Ленинграде (1932, с 1934 г. переименован в Агрофизический НИИ) и др. Как писал в 1948 г. о своем коллеге Яков Ильич Френкель (материалы были опубликованы только спустя 20 лет), «А.Ф.Иоффе является признанным отцом советской физики: его неутомимой работе, его юношескому энтузиазму, не знающему препятствий, она обязана большей частью своих молодых кадров; его смелым идеям и стимулирующему влиянию — большей частью новых фактов, установленных в области физики за последние 30 лет в различных научно-исследовательских институтах, возникающих из ЛФТИ при помощи его бывших сотрудников» [12, с.26]. Физико-технический институт под руководством Иоффе стал alma mater физики в СССР.

В начале 30-х годов в Германии к власти пришел Гитлер, и немецкие ученые начали уезжать за границу. (Часть из них оказалась в Украинском ФТИ, созданном, как говорилось выше, в 1930 г. ведущими учеными Ленинградского физтеха.) В связи с изменением ситуации в Германии в ноябре 1938 г. Абрам Федорович направил профессору Макс Планку письмо с отказом от членства в Прусской академии наук.

В 1930 г. произошли изменения в личной жизни Иоффе: он женился во второй раз. Его женой стала Анна Васильевна Ечеистова, коллега по научной работе.

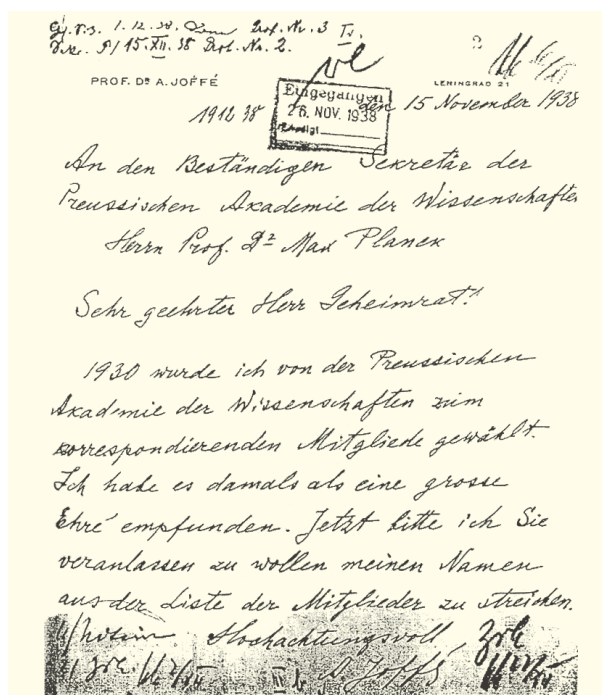
## Испытание войной

Во время Великой Отечественной войны благодаря еще довоенной стратегии Абрама Федоровича Иоффе в развитии тематик (радиолокация, размагничивание кораблей, бронезащита и др.) Физтех быстро переориентировал свои технические

и кадровые ресурсы, и в короткий полуторамесячный срок ученые начали работать в Казани в условиях эвакуации. Как директор института, Абрам Федорович строго оценивал, каким направлениям исследований необходимо дать первенство в данный момент и переводил сотрудников из лаборатории в лабораторию соответственно оборонным задачам. Так же активно под руководством «блокадного директора» П.П.Кобеко работала группа ученых Физтеха, оставшихся в Ленинграде.

Ж.И.Алфёров в предисловии к книге «Физико-технический институт в годы войны» писал: «В работе по созданию технологий и военно-технических средств, превосходящих те, что имелись у жестокого врага, участвовали учреждения АН СССР, в том числе и Физико-технический институт (Физтех), который под руководством академика Абрама Федоровича Иоффе вписал очень важные страницы в летопись войны, когда сам процесс научного творчества диктовался ее жесточайшими условиями, когда требовалось в кратчайшее время провести исследования, испытания и осуществить внедрение в боевых условиях — под огнем и бомбами. Такой стиль организации научной работы — от идеи до ее воплощения — характеризовал институт с самого его основания, и очень важно, что научно-технический задел, созданный учеными института в предвоенное время, способствовал успеху работы в военные годы» [13, с.3].

Во время войны Иоффе вел большую работу в качестве вице-президента АН СССР и академика-секретаря Отделения физико-математических наук АН СССР.



Письмо А.Ф.Иоффе от 15 ноября 1938 г. Макс Планку.



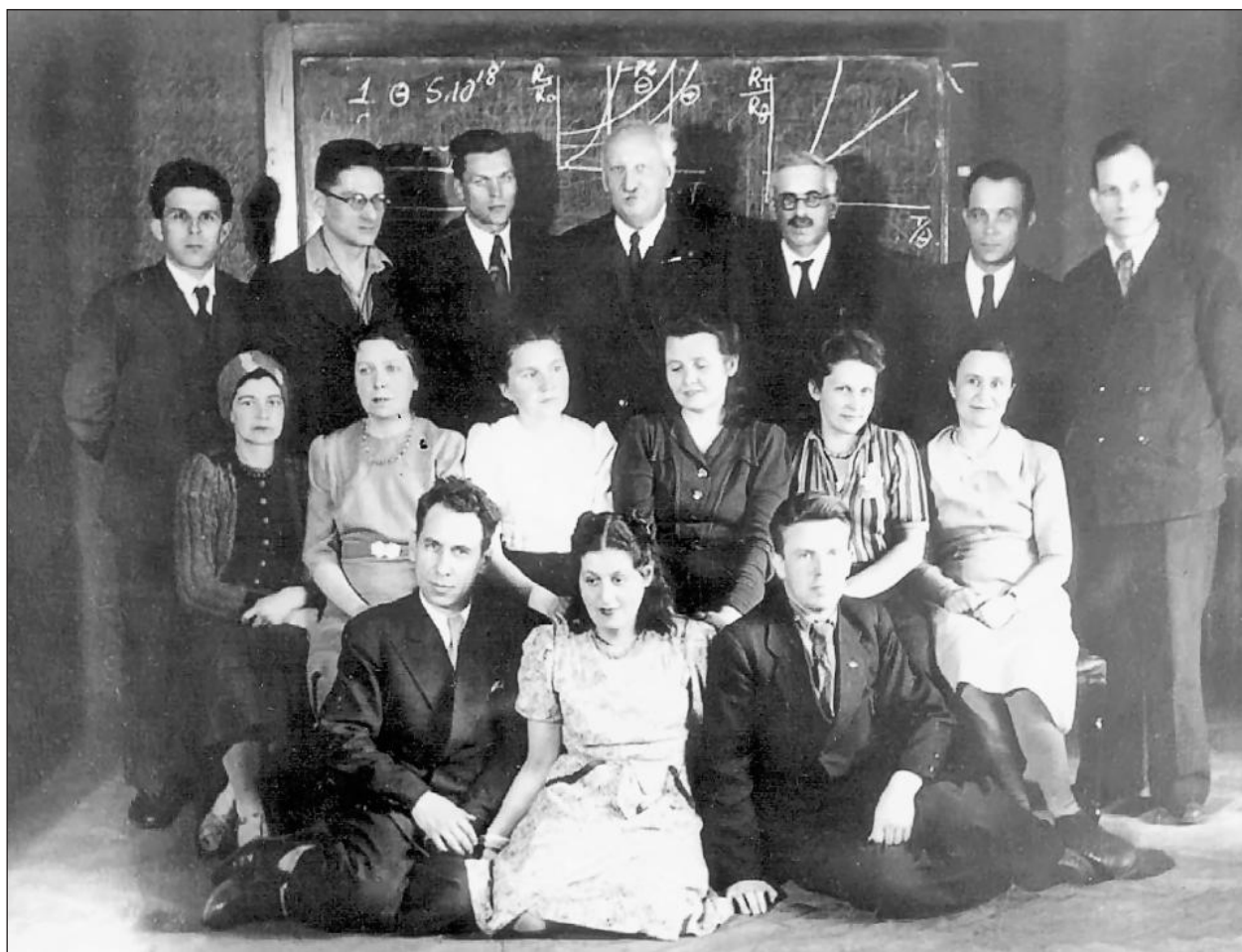
Абрам Федорович, находясь в Казани с основной частью Физтеха, заботился о сотрудниках, оставшихся в блокадном Ленинграде. По воспоминаниям М.В.Гликиной, он посылал посылки от себя лично, а в апреле 1942 г. в Ленинград был отправлен вагон с продовольствием для сотрудников Академии наук. Организовали сбор продовольствия Иоффе и другие руководители академических институтов, находившихся в Казани, — В.Г.Хлопин, Л.О.Орбели, С.И.Вавилов, Н.Н.Семёнов [14, с.192]. Сопровождали вагон сотрудники ЛФТИ Б.С.Джелепов, Н.С.Иванова, А.К.Кондратович, В.Бобылев.

Когда в 1943 г. из-за срочной необходимости развития исследований по ядерной проблеме и реализации атомного проекта распоряжением по Академии наук СССР, а затем приказом по казанской группе ЛФТИ от 14 августа 1943 г. была создана Лаборатория №2 (будущий Институт атомной энергии), именно Иоффе рекомендовал И.В.Курчатову в качестве руководителя работ.

Дочь Абрама Федоровича, Валентина Абрамовна Иоффе, работала в блокадном Физтехе — заведовала мастерской по производству гидрофобной земли, занималась очисткой олифы, доставкой воды в отопительную систему института, выполняла другие работы, необходимые для фронта и выживания сотрудников. В составе совместной бригады службы флота и ЛФТИ, в боевых условиях, на Балтийском флоте и Ладужской флотилии Валентина Абрамовна с 1942 г. участвовала в работах по размагничиванию корпусов кораблей для защиты от фашистских мин. В 1944–1945 гг. она работала на Черноморском флоте. В.А.Иоффе награждена Орденом Красной Звезды.

### Новые проблемы

После окончания войны особое внимание Иоффе уделял привлечению в институт новых кадров. И, как писал в воспоминаниях М.М.Бредов, Аб-



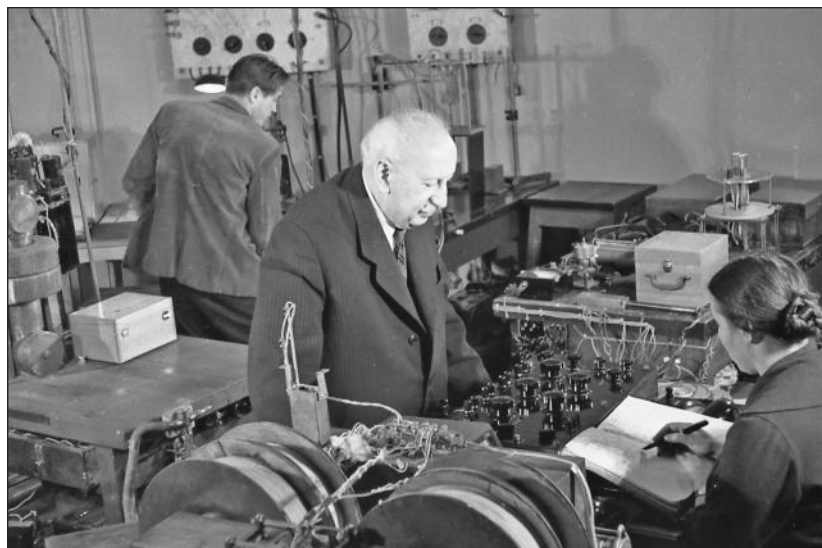
Сотрудники группы полупроводников ФТИ, 1945 г. Верхний ряд (слева направо): В.П.Жузе, Б.И.Давыдов, Ю.А.Дунаев, А.Ф.Иоффе, А.З.Левинзон, А.П.Обухов, А.П.Андреев. Средний ряд (слева направо): А.С.Альтшуллер, Е.Д.Девяткова, Л.С.Куприенко, А.В.Иоффе (жена А.Ф.), Н.П.Коломиец, М.В.Классен-Неклюдова. Нижний ряд (слева направо): Б.Т.Коломиец, Т.М.Сольц, А.Р.Регель.

рам Федорович «приложил немало усилий для выявления новых специалистов и возвращения старых сотрудников, воевавших на фронтах Великой Отечественной. В институте появляются “физики в изношенных шинелях”» [15, с.185] — Л.С.Стильбанс, В.М.Кельман, Н.И.Ионов, Н.Н.Лебедев, Г.Я.Рыскин, Б.И.Болтакс, С.М.Рывкин и многие другие.

Послевоенные годы директорства Иоффе отмечены запуском циклотрона, работами, связанными с атомным проектом, с развитием полупроводниковой электроники. На фотографии 1945 г. среди сотрудников полупроводниковой группы пять будущих заведующих лабораториями Физтеха — В.П.Жузе, Ю.А.Дунаев, А.П.Обухов, Б.Т.Коломиец и А.Р.Регель. Примечательно, что на ученом совете 8 сентября 1945 г. Иоффе сделал доклад по прочности металлов — война закончилась, а работы по бронезащите продолжались, как и по другим оборонным направлениям. В 1945–1946 гг. он всячески способствовал организации в ЛФТИ лаборатории под руководством С.Е.Бреслера, работавшего в области химии белков, а позже — генетики.

В разгар кампании «по борьбе с космополитизмом» в октябре 1950 г. президент АН СССР С.И.Вавилов предложил Иоффе уйти с поста директора ЛФТИ [16, с.450]. Абрам Федорович написал заявление с просьбой освободить его от должности директора и перевести на должность заведующего лабораторией. 8 декабря 1950 г. Президиум АН СССР утвердил это решение и назначил директором Физтеха А.П.Комара. По словам сотрудников, Абрам Федорович тяжело переживал вынужденный уход с должности [2, с.127].

3 марта 1952 г. состоялся ученый совет ЛФТИ под председательством Комара, на котором были заслушаны выводы специальной комиссии по вопросу «об ошибках освещения современной физики» в книге А.Ф. Иоффе «Основные представления современной физики». Через три недели Абрам Федорович ушел из института и основал Лабораторию полупроводников. (Президиум АН СССР издал распоряжение от 31 марта 1952 г. №565 об организации самостоятельной лаборатории под руководством Иоффе в составе Отделения физико-математических наук). Сначала был выделен штат 8 единиц, а через два месяца — 36. Вскоре в Лаборатории полупроводников начали исследования 18 сотрудников, покинувших стены Физтеха. В 1954 г. она была преобразована в Институт полупроводников АН СССР, который через 18 лет вошел в состав Физтеха.



Иоффе с сотрудниками (справа — И.В.Мочан) в лаборатории Института полупроводников (Кутузовская наб., д.10), около 1959 г.

Иоффе активно участвовал в издательской деятельности. Будучи деканом физико-механического факультета ЛПИ, он еще в 1929 г. поддержал инициативу студенческого кружка физиков по изданию журнала «Физика и производство» и опубликовал в первом его выпуске статью «Квантовая механика». Иоффе был организатором в 1931 г. «Журнала технической физики», который через три года уже издавался под его редакцией на трех языках (английском, немецком и французском) с названием «Technical Physics of the USSR». Он инициировал создание журнала «Физика твердого тела», в течение нескольких лет редактировал «Журнал экспериментальной и теоретической физики».

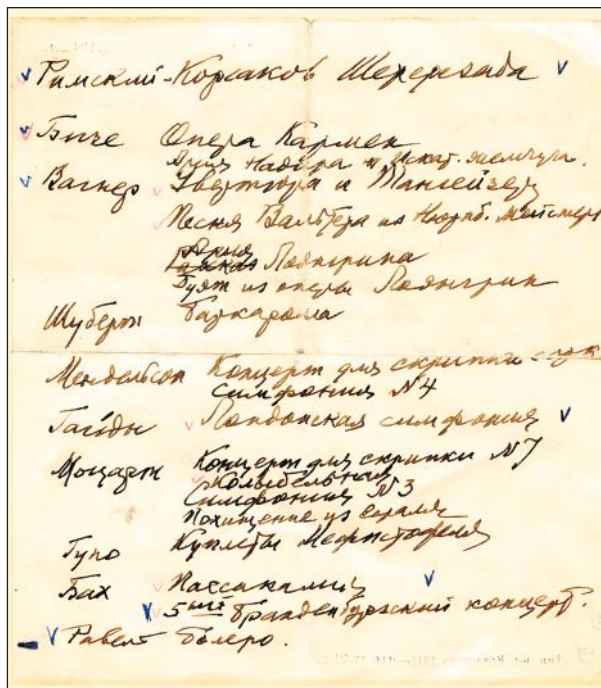
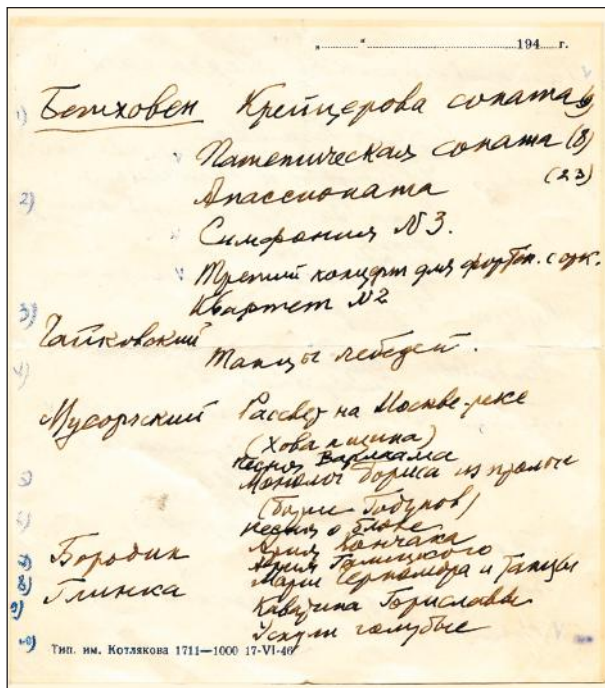
## Штрихи

Абрам Федорович был оптимистом, спокойно принимал шутки на свой счет. В 1940 г. он с удовольствием смотрел кукольный спектакль, посвященный его 60-летию. Не все иностранные ученые по разным причинам смогли участвовать в праздновании. Физтеховцы заменили отсутствующих ученых куклами с их портретным сходством, которые были изготовлены в мастерской театра Деммени. Традиция таких спектаклей продолжилась в Институте полупроводников. Сохранилось две куклы — одна из них изображала Иоффе, другая — Поля Дирака.

Абрам Федорович всегда хорошо одевался, носил галстуки, преимущественно синие или голубые. Держал в лаборатории конфеты и мыло с нежным запахом [17, с.126–127]. Никогда не курил и всем запрещал курение, как в своем доме, так и на заседаниях. На рабочем столе у него всегда стояли цветы.

Иоффе любил литературу, кино, театр, интересовался живописью и архитектурой, совершал пе-





Записка А.Ф.Иоффе с перечнем музыкальных произведений: слева — лист из блокнота 1946 г., справа — оборот листа.



Куклы, изображающие А.Ф.Иоффе (слева) и П.Дирака. Фотография куклы с чертами А.Ф.Иоффе предоставлена Санкт-Петербургским филиалом Архива РАН, где она находится на хранении (Фонд А.Ф.Иоффе. СПбФ АРАН. Ф.150, оп.1, д.17).

шие прогулки и играл в теннис до конца своих дней. По воскресеньям его можно было встретить на теннисной площадке с ракеткой.

Абрам Федорович очень любил и ценил музыку (сам не музицировал), часто посещал филармонию, Кировский театр. Во время пребывания в Беркли в 1927 г. ходил слушать Федора Шаляпина, который тогда давал концерты в городках на побережье залива Сан-Франциско [18, с.104]. В последние

годы жизни Абрам Федорович чаще слушал музыку дома. Сохранилась его записка из блокнота с перечнем музыкальных произведений, пластинки с которыми он просил приобрести своего сотрудника Р.Ш.Малковича.

В 50-е годы Абрам Федорович с женой, Анной Васильевной, проводили выходные на даче, на Финского залива, в Комарово. Они сами сажали в саду розы и другие растения, которые Абрам Федорович привозил из разных мест.

Абрам Федорович Иоффе скончался 14 октября 1960 г., в свой рабочий день, за две недели до восьмидесятилетия. Семёнов писал о нем: «...я думаю, что во все времена ни у одного народа не было физика, который бы, подобно Иоффе, вырос-

тил такое огромное число крупных ученых из своих учеников...» [8, с. 9].

В память об основателе у здания ФТИ имени А.Ф.Иоффе установлен памятный бюст (1964). Его именем названы: Физико-технический институт, площадь в Санкт-Петербурге, улицы в Адлерсхофе (Германия) и Ромнах (Украина), научно-исследовательское судно «Академик Иоффе», малая планета (1980), кратер на Луне. ■



## Литература / Reference

1. Семёнов Н.Н. Наука и общество: статьи и речи. М., 1981. [*Semenov N.N. Science and Society: Articles and Speeches. M., 1981. (In Russ.)*]
2. Соминский М. Академик А.Ф.Иоффе. Иерусалим, 1986. [*Sominsky M. Academician A.F.Ioffe. Jerusalem, 1986. (In Russ.)*]
3. Крылов А.Н. // Воспоминания об А.Ф.Иоффе. Л., 1972; 13–16. [*Krylov A.N. Memories of A.F.Ioffe. L., 1972; 13–16. (In Russ.)*]
4. Иоффе А.Ф. Моя жизнь и работа: Автобиографический очерк. М.; Л., 1933. [*Ioffe A.F. My Life and Work: an Autobiographical Essay. M.; L., 1933. (In Russ.)*]
5. Обреимов И.В. // Воспоминания об А.Ф.Иоффе. Л., 1972; 21–62. [*Obreimov I.V. Memories of A.F.Ioffe. L., 1972; 21–62. (In Russ.)*]
6. Дукельский В.М. Очерк по истории Физико-технического института Академии наук СССР за период 1918–1954 гг. 1955 г. Архив ФТИ. [*Dukelsky V.M. Essay on the History of the Physical-Technical Institute of the USSR Academy of Sciences for the Period of 1918–1954. 1955. Archive of Ioffe Institute. (In Russ.)*]
7. Головин И.Н. И.В.Курчатов. М., 1979. [*Golovin I.N. I.V.Kurchatov. M., 1979. (In Russ.)*]
8. Семёнов Н.Н. // Воспоминания об А.Ф.Иоффе. Л., 1972; 5–10. [*Semenov N.N. Memories of A.F.Ioffe. L., 1972; 5–10. (In Russ.)*]
9. Иорданишвили Е.К. Воспоминания об А.Ф.Иоффе. Л., 1972; 199–203. [*Iordanisvili E.K. Memories of A.F.Ioffe. L., 1972; 199–203. (In Russ.)*]
10. Френкель В.Я., Московченко Н.Я. Документы и материалы. Вклад академика А.Ф.Иоффе в становление ядерной физики в СССР. Л., 1980; 8–38. [*Frenkel V.Ya., Moskovchenko N.Ya. Documents and materials. Contribution of Academician A.F.Ioffe to the Formation of Nuclear Physics in the USSR. L., 1980; 8–38. (In Russ.)*]
11. Зельдович Я.Б., Харитон Ю.Б. Роль А.Ф.Иоффе в развитии советской ядерной физики и техники. Природа. 1980; 10: 27–35. [*Zel'dovich Ya.B. Khariton Yu.B. Role of A.F.Ioffe in the Development of Soviet Nuclear Physics and Technology. Priroda. 1980; 10: 27–35. (In Russ.)*]
12. Френкель Я.И. Абрам Федорович Иоффе. Л., 1968. [*Frenkel Ya.I. Abram Fedorovich Ioffe. L., 1968. (In Russ.)*]
13. Алферов Ж.И. Предисловие. Физико-технический институт в годы Великой Отечественной войны. Сост. В.В.Д'яков. СПб., 2006: 3–4. [*Alferov Zh.I. Preface. Physical-Technical Institute during the Great Patriotic war. V.V.D'yakov (ed.). SPb., 2006: 3–4. (In Russ.)*]
14. Гликина М.В. // Воспоминания об А.Ф.Иоффе. Л., 1972: 189–194. [*Glikina M.V. Memories of A.F.Ioffe. L., 1972: 189–194. (In Russ.)*]
15. Бредов М.М. // Воспоминания об А.Ф.Иоффе. Л., 1972: 183–188. [*Bredov M.M. Memories of A.F.Ioffe. L., 1972: 183–188. (In Russ.)*]
16. Сонин А.С. Черные дни академика Иоффе. Вестник РАН. 1994; 64(5): 448–452. [*Sonin A.S. Black days of academician Ioffe. Bulletin of the Russian Academy of Sciences. 1994; 64(5): 448–452. (In Russ.)*]
17. Классен М.В., Классен Т.В. Воспоминания об А.Ф.Иоффе. Отв. ред. В.П.Жузе. Л., 1972: 126–131. [*Klassen M.V., Klassen T.V. Memories of A.F.Ioffe. V.P.Zhuse (ed.). L., 1972: 126–131. (In Russ.)*]
18. Лёб Л.Б. // Воспоминания об А.Ф.Иоффе. Л., 1972: 103–107. [*Loeb L.B. Memories of A.F.Ioffe. L., 1972; 103–107. (In Russ.)*]

## Abram F.Ioffe — the First Director of the Ioffe Institute

R.F.Vitman<sup>1</sup>, E.V.Kunitsyna<sup>1</sup><sup>1</sup>Ioffe Physical-Technical Institute, RAS (Saint Petersburg, Russia)

Abram F.Ioffe (1880–1960) was an outstanding Russian/Soviet physicist, organizer of science, the first Director of the Physical-Technical Institute (PTI). At present, the Institute bears his name. Academician (1920), vice-president of the USSR Academy of Sciences (1926–1929; 1942–1945), Honored worker of science of the RSFSR (1933), honorary member of many foreign Academies of Science. Ioffe graduated from the Technological Institute of the Emperor Nicholas I in St. Petersburg (1902). He headed the Physical-Technical Department of the State Institute for Roentgenology and Radiology (1918–1922), and was the Director of PTI (1922–1950), the Agrophysical Institute (1931–1960), and the Institute of Semiconductors (1954–1960). The main works were in the field of general physics and solid state physics. He made a great contribution to the physics and technology of semiconductors. He received the Stalin prize (1942) and the Lenin prize (1961, posthumously), the Hero of Socialist Labor (1955). Awarded three Orders of Lenin (1940, 1945, and 1955), and medals, including the Medal «For the Defense of Leningrad» (1945).

**Keywords:** Physical-Technical Institute, A.F.Ioffe, the history of science.

# Курчатов и Физтех

академик А.Г.Забродский

Физико-технический институт имени А.Ф.Иоффе РАН (Санкт-Петербург, Россия)

e-mail: andrei.zabrodskii@mail.ioffe.ru

Сто лет Физико-технического института имени А.Ф.Иоффе Российской Академии наук — это славная история научных открытий и свершений, масштабных проектов, оказавших огромное влияние на развитие экономики и обороноспособности нашей страны. Без сомнения, Игорь Васильевич Курчатов является самой яркой и значимой фигурой в когорте выдающихся ученых — организаторов науки, воспитанных в научной школе академика Абрама Федоровича Иоффе в Ленинградском физико-техническом институте (ЛФТИ). Проекты, которыми руководил И.В.Курчатов, определили и развитие самого ЛФТИ. Помимо их обоих в этом очерке есть еще один герой — Иоффе, который был не только учителем, но и старшим другом Курчатова, неизменно оказывавшем ему поддержку в сложные моменты его биографии. Впрочем, ЛФТИ тех времен и его первый директор Иоффе — слова, по смыслу, конечно же, трудноразделимые.

**Ключевые слова:** И.В.Курчатов, А.Ф.Иоффе, Ленинградский физико-технический институт, сегнетоэлектричество, физика атомного ядра, циклотрон, размагничивание военных кораблей, Броневая лаборатория, советский атомный проект, Лаборатория №2, управляемый термоядерный синтез.

В юбилейный для Физтеха год отмечается еще одна памятная дата — 115 лет со дня рождения Игоря Васильевича Курчатова. Это дает дополнительный повод вспомнить о том, что Курчатов прошел физтеховскую школу.

## Самостоятельный научный опыт

В 1923 г. двадцатилетний Курчатов закончил Таврический университет (позднее тот стал именоваться Крымским) по специальности «физика». Это был вполне передовой университет, в котором работало много известных ученых. Сначала его возглавлял В.И.Вернадский, а с 1920 г. — А.А.Байков, будущий вице-президент Академии наук СССР\*. Читая лекции сюда приезжали видные ученые из Москвы, Петербурга, Киева — А.Ф.Иоффе, А.Н.Крылов, В.А.Обручев, Я.И.Френкель и др.

Важную роль в биографии Игоря Васильевича сыграл профессор Крымского университета Семен Николаевич Усатый. Внешне он чем-то напоминал Абрама Федоровича Иоффе. Кроме того, они были свояками (были женаты на сестрах Кравцовых) и дружили семьями.

Осенью 1923 г. Курчатов приезжает в Петроград и поступает на третий курс кораблестроительного факультета Политехнического института. Его влечет к морю, к инженерной деятельности. Чтобы зарабатывать на жизнь, он оформляется на работу в Слуцкую (Павловскую) магнитно-ме-

теорологическую обсерваторию. Там он получил свой первый научный опыт, занимаясь изучением радиоактивности снега, и опубликовал первую научную статью. Работа отнимала много времени и усилий. С учебой не заладилось, и Курчатова из Политехнического отчислили.

Он возвращается в Крым и летом 1924 г. в Феодосии начинает изучать сейши (колебания плоскости морской поверхности) в бассейне Черного и Азовского морей в организации под названием «Гидрометеобюро Черного и Азовского морей». Представление о сейшах можно получить, слегка наклонив неполный стакан с водой и затем резко вернув его в вертикальное положение: поверхность воды придет в колебательное движение, подымаясь у одной стороны и опускаясь у противоположной. В Гидрометеобюро стекалась информация о сейшах с приборов-регистраторов, расположенных у западных и восточных морских берегов. В обязанности Курчатова входил анализ этой информации. Практически в одиночку ему удалось установить основные закономерности сейшей, достоверно выявить влияние Луны. Это стало предметом двух его научных статей, на которые потом долго ссылались специалисты.

В ноябре 1924 г. по приглашению Усатого он переезжает в Баку и поступает к нему на кафедру физики в Азербайджанский политехнический институт. Став ассистентом кафедры, он занимается вопросами прохождения электрического тока через твердые диэлектрики.

## К А.Ф.Иоффе — в Ленинградский Физтех!

Весной 1925 г. А.Ф.Иоффе приглашает Курчатова на работу в Ленинградский физтех. Абрам Федо-

\* В 1943 г. именно А.А.Байков подпишет распоряжения Академии наук СССР о назначении И.В.Курчатова руководителем Лаборатории №2 и об образовании самой Лаборатории.



С.Н.Усатый



А.Ф.Иоффе



К.Д.Синельников

рович тогда собирал в ЛФТИ талантливую научную молодежь со всей страны. О Курчатове ему рассказал Кирилл Синельников, друг Курчатова, который учился с ним в Крымском университете, а потом также работал на кафедре Усатого (Синельников получил такое же приглашение от Иоффе на полгода раньше). Игорь Васильевич принимает предложение.

Ленинградский физтех, бывший в те годы центром физики в СССР, по сути состоял из двух институтов [1]. Один из них — организованный в 1918 г. Государственный физико-технический рентгенологический институт (ГФТРИ) — находился в ведении Наркомата просвещения. Это был как бы академический Физтех, нацеленный на передовую физическую науку начала XX в. Другая часть — созданная в 1925 г. по инициативе Иоффе Ленинградская физико-техническая лаборатория (ЛФТЛ) — подчинялась непосредственно Высшему совету народного хозяйства (ВСНХ). Она предназначалась для исследований прикладной направленности и тесно взаимодействовала с промышленностью. 1925 год — начало быстрого продвижения СССР по пути индустриализации. Требовалось технически перевооружить предприятия, заменить успешные устаревшие дореволюционные зарубежные технологии на новые — отечественные, а для этого усилить связь науки с промышленным производством. ЛФТЛ быстро развивалась и расширялась. Востребованная прикладная тематика позволяла получать средства на приобретение нового оборудования и увеличение штатов. Иоффе возглавлял одновременно ГФТРИ и ЛФТЛ, что позволяло оптимальным образом развивать как академические, так и прикладные направления. В 1927 г. ЛФТЛ превратилась в Государственную физико-техническую лабораторию, а в 1930 г. — в Государственный физико-техничес-

кий институт, который в 1931 г. объединился с ГФТРИ, образовав Ленинградский физико-технический институт (ЛФТИ).

Именно в ЛФТЛ в лабораторию, руководимую Иоффе, и был принят Курчатов в качестве сверхштатного научного сотрудника. Адаптацию к новому месту работы облегчало то, что поначалу он несильно отклонялся от того направления, по которому работал у Усатого: вел исследования диэлектриков, электрического пробоя, высоковольтной электроизоляции.

Все это входило и в круг научных интересов самого Иоффе в те годы. Теми же вопросами у Иоффе занимался и Синельников. В соавторстве с ним Курчатов выполнил свою первую работу в ЛФТИ, посвященную прохождению медленных электронов через тонкие металлические фольги. Чуть позже в их группу влился Павел Павлович Кобеко, потом другие.

Дружбу молодых лет Курчатова и Кобеко пронесут через всю жизнь. Под Новый 1954 г. Кобеко приедет в гости к Курчатovu в Москву. Ему надо обязательно встретиться со старым другом и обсудить очень важные дела. Но Курчатова вызывают на новогоднюю встречу в Кремль. Так и не выговорившись перед другом, Павел Павлович возвращается к себе в Ленинград. Через несколько дней он уходит из жизни...

### Семейный тыл «Генерала»

В 1927 г. Игорь Васильевич женился на Марине Дмитриевне Синельниковой, сестре Кирилла. Она стала его верной подругой, помощником на всю жизнь. В последние годы жизни Игорь Васильевич стал позволять себе проявлять сентиментальность в академическом кругу, особенно в отноше-





Игорь Васильевич и Марина Дмитриевна.

ниях с теми, кто были «мальчишками» по сравнению с ним. Переживал, по-видимому, что своих детей с Мариной Дмитриевной у них не было [2].

Марина Дмитриевна целиком и полностью посвятила себя мужу и его работе. В ее ведении были семейный быт и все заботы по домашнему хозяйству. Если дома возникал вдруг припозднившийся гость, «замыкала» его на себя, позволяя Игорю Васильевичу незаметно уединиться для занятий наукой. Членом семьи Курчатова и его большим другом был его брат Борис, который всегда был где-то рядом, работая последовательно в Физтехе, Лаборатории №2, ЛИПАНе, Институте атомной энергии.

Учась в гимназии, Курчатov играл на струнных инструментах в школьном оркестре. Любовь



Борис Васильевич Курчатov.

к классической музыке он сохранил на всю жизнь. 3 февраля 1960 г. вместе с Мариной Дмитриевной был в Московской филармонии, где давали «Реквием» Моцарта. Возвращался в приподнятом настроении, строил планы на будущее. Жить ему оставалось 4 дня...

От исследования изоляции и диэлектриков Игорь Васильевич переходит к новой области — сегнетоэлектричеству. У него уже достаточно большая группа сотрудников, затем лаборатория. За несколько лет выполнен обширный цикл работ. Итоги его Курчатov подводит в книге «Сегнетоэлектрики», выпущенной в 1933 г., — первой в мире монографии на эту тему. Именно пионерские исследования сегнетоэлектриков составили Курчатovu имя в науке. Следующий заметный шаг вперед в данной области был сделан у нас в стране Б.М.Вулом в Физическом институте Академии наук уже в послевоенные годы. Затем, в 60–70-е годы прошлого века, дальнейшее изучение сегнетоэлектричества будет связано с именем Г.А.Смоленского, работавшего в Институте полупроводников Академии наук, а после его присоединения в 1972 г. к ФТИ — в последнем.

Важный для понимания судьбы Курчатова тезис: Игорь Васильевич был человеком проекта, который реализовывал. Отдавался ему целиком, без остатка. В любом увлекшем его деле Курчатov всегда захватывал инициативу, становился лидером и руководил. Это видели окружавшие его друзья и коллеги по Физтеху, которые дали ему шуточное прозвище — Генерал.

## К физике атомного ядра

Почему же все-таки Игорь Васильевич бросил успешно «пахать» со своей командой поле сегнетоэлектричества и начал заниматься ядерной физикой? Потом он напишет, что в направлении сегнетоэлектричества можно было бы работать еще довольно долго, но оно было не настолько значимо и значительно, чтобы увлечь его целиком и навсегда. И все же нужен был какой-то толчок, импульс! Такой импульс, как оказывается, действительно был.

Перенесемся в 1932 год. В мире происходит череда эпохальных открытий в области ядерной физики, в том числе открытие нейтрона, позитрона и искусственной радиоактивности. По инициативе ЛФТИ принимается решение о проведении в Ленинграде в 1933 г. I Всесоюзной конференции по изучению атомного ядра с участием ведущих зарубежных ученых (председатель оргкомитета — А.Ф.Иоффе). 14 декабря 1932 г. Абрам Федорович пишет в дирекцию Украинского физико-технического института о подготовке этой конференции, указывая темы дискуссий и предполагаемых докладчиков [3, док.3]. Среди них мы находим Курчатова, который в компании с Кокрофтом, Сине-

льниковым, Лейпунским и Корсунским значится в теме под номером один — «Методы искусственного расщепления».

Двумя днями позже, 16 декабря, издается приказ по ЛФТИ о создании ядерной группы.

**Приказ ЛФТИ  
о создании ядерной группы  
от 16 декабря 1932 г.**

§1. Для осуществления работ по ядру, являющихся второй центральной проблемой\* научно-исследовательских работ в ЛФТИ, образовать особую группу по ядру\*\* в составе: акад. А.Ф.Иоффе — начальник группы, Курчатов И.В. — зам. начальника группы, Еремеев М.А., Скобельцын Д.В., Богдаевич П.А., Бобковский С.А., Пустовойтенко И.П., Селинов И.П., Бронштейн М.П., Иваненко Д.Д.

§2. Гамова Г.А. и Мысовского Л.В. числить консультантами группы.

§3. Придавая особо важное значение развертыванию работ по ядру, выделить в 1933 г. особый фонд для премирования работников группы.

§4. Ответственность за работу семинара по ядру возложить на Иваненко Д.Д.

§5. Заместителю начальника группы Курчатову И.В. к 1 января 1933 г. представить план работ группы на 1933 г. и выработать мероприятия по привлечению необходимых кадров.

§6. Забронировать за группой комнаты.  
Заместитель директора

Без сомнения, оба цитированных выше декабрьских документа взаимосвязаны: Иоффе воспользовался конференцией, чтобы резко расширить проводимые в ЛФТИ исследования по ядру и поднять их уровень. Своим заместителем и реальным «мотором» команды он делает Курчатова, чьи организаторские и научные способности высоко ценит, несмотря на то что Игорь Васильевич ядерными исследованиям ранее глубоко не занимался. (Первая научная статья Курчатова, которая была посвящена радиоактивности снега, не в счет: сейчас речь шла о серьезном рывке ЛФТИ в передовую физику атомного ядра.) На семинаре группы за короткое время были сделаны обзоры важнейших зарубежных достижений в области физики ядра. Дело

было поставлено столь серьезно, что не остается сомнений в дальнем прицеле Абрама Федоровича на быстрое и масштабное развитие в ЛФТИ исследований в области ядерной физики и относительно предполагаемого им лидера этого направления по части экспериментальных исследований.

В 1933 г. ЛФТИ на высоком уровне проводит приуроченную к 15-летию Института Конференцию по физике атомного ядра, председателем оргкомитета которой был Курчатов. Шаржи художника Н.А.Мамонтова запечатлели ряд ее участников: Матвей Петрович Бронштейн (репрессированный и трагически погибший в 1938 г.), Поль Дирак, Игорь Васильевич Курчатов, Александр Ильич Лейпунский, Фредерик Жолио-Кюри, Абрам Федорович Иоффе, Франсуа Перрен и Франко Разетти. Курчатов на Конференции не выступал, пояснив: «Я еще только разгоняюсь. Не хочется мельчить» [1]. Заметим, что на посту председателя оргкомитета он практически и не имел времени для подготовки серьезного выступления.

Чуть ранее, 1 мая 1933 г., Курчатов назначается начальником отдела ядерной физики в ЛФТИ. Успехи молодого отдела были столь внушительными, что уже в следующем, 1934 г., Иоффе назовет в годовом отчете ядерную тематику *первым* направлением в институте, а физику твердого тела — *вторым*. В отделе были выполнены важные исследования ядерных реакций с протонами и нейтронами (1933–1938) и ядерной изомерии (1935–1940).

Так ведомый Иоффе ЛФТИ оказался на гребне волны ядерной физики, которая понесла многих его выдающихся ученых к вершинам научных успехов и славы.



М.П.Бронштейн



П.А.М.Дирак



И.В.Курчатов



А.И.Лейпунский



Ф.Жолио



А.Ф.Иоффе



Ф.Перрен



Ф.Разетти

Шаржи художника Н.А.Мамонтова.

\* После физики твердого тела.

\*\* Ранее в ЛФТИ на исследованиях в области ядерной физики были сосредоточены существенно меньшие силы: Д.В.Скобельцын (космические лучи), Г.А.Гамова и Я.И.Френкель (теория).

## Как ЛФТИ оказался в Академии наук СССР

На мартовской сессии Академии наук СССР 1936 г. состоялось рассмотрение результатов деятельности ЛФТИ на основе обширного доклада, с которым выступил директор института академик А.Ф.Иоффе\*. Доклад, помимо научных разделов, содержал примеры технических приложений результатов исследований. Резюмируя научный раздел, Иоффе сказал [4]: «Я не преувеличу значение работ ФТИ, если скажу, что выход в первое же десятилетие (советской власти. — А.З.) советской физики на одно из передовых мест обязан, в основном, работам ФТИ».

Дискуссия по докладу содержала 21 выступление и продолжалась два дня, сопровождаясь иногда нелестными замечаниями и оценками. В целом критика сводилась к некоторым ошибкам, по мнению выступающих, результатам исследований и к общему тезису «оторванности от жизни» такого направления, как ядерная физика. Последний станет более понятным, если учесть, что ЛФТИ тогда находился в ведении Наркомата тяжелого машиностроения и от него ожидали преимущественно прикладных результатов, важных для народного хозяйства и обороноспособности страны.

Разрешение коллизии далее пошло, по-видимому, по наиболее оптимальному пути.

Было решено вывести ЛФТИ и все созданное им семейство физико-технических институтов\*\* из ведения Наркомата (в то время — уже Наркомата среднего машиностроения) и передать их в ведение Академии наук: тех, что находились на территории РСФСР, — в АН СССР, организаций в союзных республиках — в республиканские академии. Это событие произошло в 1939 г. и оказало позитивное влияние на развитие ядерной физики в СССР, штабом которого стала Академия наук. Наиболее явно преимущества новой организации исследований раскрылись в ходе реализации советского уранового (атомного) проекта, когда знания и опыт ученых соединились с важнейшим запросом и поддержкой со стороны государства.

## Циклотроны и уран

Следующий важный этап в научной биографии Игоря Васильевича связан с конструированием, разработкой и запуском циклотронов. Первым была небольшая установка, созданная в его физико-технической лаборатории в 1932–1934 гг. [1]. Позднее существенно более крупный циклотрон был

спроектирован и сооружен в Государственном радиовом институте (ГРИ). Его долго не могли запустить, сказывался недостаток опыта. К проблеме серьезно подключился Игорь Васильевич, став работать по совместительству в ГРИ. В том, что в конце концов циклотрон ГРИ начал функционировать, без сомнения, решающая заслуга Курчатова.

Затем последовал проект циклотрона ЛФТИ, который должен был стать крупнейшим в Европе на то время. Работы начались в 1936 г. Проектированием и строительством руководили И.В.Курчатов и А.И.Алиханов. О важности этих работ свидетельствует тот факт, что трехтомник «Атомный проект СССР», изданный в 1998 г. [5], открывается документом №1 от 5 марта 1938 г., в котором ходатайствовало о выделении 1 млн рублей для строительства этого циклотрона как экспериментальной базы ядерных исследований. Данный документ представляет собой письмо на имя председателя СНК СССР В.М.Молотова группы сотрудников ЛФТИ, в числе которых А.Ф.Иоффе, И.В.Курчатов, А.И.Алиханов, Д.В.Скобельцын, Л.А.Арцимович, А.И.Алиханьян, Л.М.Немёнов, Л.И.Русинов и др. (всего 23 подписи)\*\*\*.

Письмо возымело действие: Постановление о выделении средств было выпущено 7 июня 1939 г. Фундамент циклотрона ЛФТИ был торжественно заложен 22 сентября 1939 г.

Немного об отношении Курчатова с его учениками на примере открытия спонтанного деления ядер урана. Под руководством Игоря Васильевича его аспиранты Г.Н.Флёров и К.А.Петржак в 1939 г. ставили опыты по исследованию размножения нейтронов при разных композициях урана и замедлителя. Молодежи Курчатов доверил разработку высокочувствительного детектора нейтронов. Как-то ночью, заканчивая измерения, они убрали внешний источник и пришли в смятение: детектор все равно их регистрировал! Позвонили Курчатову и продолжали наблюдать. В 2 часа ночи Игорь Васильевич перезвонил в лабораторию и предложил подумать, как исключить возможное влияние радиоактивной грязи. В течение нескольких месяцев он заставлял Флёрова и Петржака менять условия опыта и многократно перепроверять результаты. Настоял на проведении контрольных опытов на станции «Динамо» московского метро на глубине 40 м, чтобы исключить космические лучи как возможную причину деления ядер урана. Лишь после этого Курчатов дал добро на публикацию, но категорически отказался быть соавтором.

\*\*\* Письмо по сути дублирует более раннее обращение А.Ф.Иоффе от 23 января 1937 г. на имя наркома тяжелой промышленности Г.К.Орджоникидзе [3, док.4] с обоснованием необходимости строительства циклотрона ЛФТИ и с просьбами о финансировании и выполнении ряда заказов для него на заводах СССР.

\* С содокладами выступили: Ф.Т.Коляев (физика — сельскому хозяйству), М.В.Кирпичев (теплофизика) и Г.М.Франк (биофизика) [4].

\*\* По одним данным — 12, по другим — 14 институтов.



Почему же Игорь Васильевич потребовал такой тщательной проверки и отчего не стал автором статьи? Ответ на первый вопрос, возможно, кроется в собственной и, кстати, единственной ошибке, допущенной им самим при исследованиях тонкослойной изоляции в первые годы своей работы в ЛФТИ, — ошибке, которую поправил его друг и коллега по ЛФТИ Анатолий Петрович Александров. Что касается второго вопроса, то, скорее, здесь дело в случайном характере открытия и особой щепетильности Курчатова. В 1940 г. Курчатов дважды рассказывал об этой работе Флёрова и Петржака в Академии наук СССР, не упоминая о своей роли в исследованиях...

Еще один пример принципиальности Курчатова из его более поздней биографии. 1953 год, арестован Л.П.Берия, Курчатову предлагают дать против него показания. Он отказывается, мотивируя это важной ролью, которую тот сыграл в реализации Атомного проекта: «Если бы не Берия, у нас атомной бомбы не было бы до сих пор»\*.

В номере от 22 июня 1941 г. газета «Правда» сообщила о большом успехе ученых ЛФТИ, завершивших строительство похожего на планетарий здания для самого крупного в Европе циклотрона. Уже было закуплено и частью изготовлено (в основном на ленинградских заводах оборудование). Пуск был назначен на 1 января 1942 г.

Начавшаяся война круто изменила все планы.

## Размагничивание военных кораблей

Курчатов пытается попасть на фронт. Ему отказывают. Отправив в эвакуацию жену, он обращается к А.П.Александрову, руководившему работами по размагничиванию военных кораблей, с просьбой взять его в команду физтеховцев, которая занималась этим на флотах во фронтовых условиях [6].

Проблема размагничивания оказалась в числе наиважнейших в первые месяцы войны, когда немцы забросали с самолетов магнитными минами мелководный Финский залив и бухты Севастополя, заперев наш флот на базах.

Методика размагничивания кораблей была разработана лабораторией Александрова в ЛФТИ в 1936–1939 гг. и, получив название «система ЛФТИ» [7], была принята на вооружение в 1939 г. Ею должны были быть оборудованы все крупные



Здание циклотрона ЛФТИ.

корабли ВМФ. Однако к началу войны системой ЛФТИ с участием физтеховцев был укомплектован только линкор «Марат». Флотской службы размагничивания не было вовсе. Руководить работами по размагничиванию на всех флотах поставили Александрова. Была создана команда из 24 сотрудников Физтеха. Их разделили на группы по несколько человек, которые проводили работы по размагничиванию на базах флота в условиях фронта [8]. Так Игорь Васильевич в августе 1941-го попал в Севастополь, где руководил группой размагничивания кораблей Черноморского флота. Работы начались с оборудования в одной из бухт полигона для проверки кораблей, прошедших размагничивание. С 30 августа по 25 октября группой было размагничено более 50 кораблей. Адмирал Галлер вспоминал, что «по указанию Курчатова они без опасения выходили в море и только ему вверяли свою жизнь» [2]. Для каждого размагниченного корабля выпускалась «Инструкция по боевому применению системы ЛФТИ» и «Паспорт размагничивания». Одной из первых группа начала применять безобмоточный метод для размагничивания подводных лодок. В ноябре 1941 г. на плавбазе «Волга» группа была перебазирована на Кавказ в Потю для продолжения работ по размагничиванию. Это плавание могло бы закончиться трагически, не послушайся капитан плавбазы приказа идти вдоль побережья Крыма в режиме радиосвязи. В режиме полного радиомолчания он взял курс на юг, и лишь когда стали видны Синопские горы на турецком побережье, круто повернул на восток в направлении Кавказа. Два корабля, вышедшие из Севастополя одновременно с «Волгой», которые, согласно предписанию, пошли у побережья Крыма, поддерживая связь с базой, были обнаружены и потоплены неприятелем.

\* Черников В. Менеджмент уранового проекта // Секретные материалы. 2014. №26(412). С.12–13.



Памятник в Севастополе за размагничивание кораблей.

Работы в Потти, однако, было немного, и в самом конце 1941 г. Курчатов оказался в казанской группе ЛФТИ\*.

В 1942 г. за разработку системы ЛФТИ были удостоены Сталинской премии I степени шестеро физтеховцев: А.П.Александров, И.В.Курчатов, Б.А.Гаев, В.М.Тучкевич, В.Р.Регель и П.Г.Степанов. В отличие от Анатолия Петровича и его сотрудников, которые были погружены в эту тему с 1936 г., Игорь Васильевич, если так можно выразиться, «наработал» на премию за несколько месяцев.

В 1976 г. в Севастополе установили памятник в честь размагничивания кораблей Черноморского флота под руководством А.П.Александрова и И.В.Курчатова. Памятник был построен на деньги военных моряков. Он прост и выразителен: постоянный магнит в виде буквы «U», между полюсами — корабль, к которому из полюсов подходят волны — силовые линии\*\*.

У нас в Ленинграде-Санкт-Петербурге, где система ЛФТИ создавалась и применялась для размагничивания кораблей Балтийского флота, к сожалению, подобного памятника нет.

Замечу, что из физтеховской «команды» по размагничиванию вышло несколько выдающихся уче-

\* В августе 1941 г. часть работников ЛФТИ во главе с его директором А.Ф.Иоффе была эвакуирована в Казань и стала именоваться Казанской группой ЛФТИ. Оставшиеся работать в Ленинграде 103 сотрудника ЛФТИ во главе с П.П.Кобеко назывались Ленинградским филиалом ЛФТИ.

\*\* На самом деле взрыватель магнитных мин реагировал не на горизонтальную, а на вертикальную компоненту магнитного поля.

ных — организаторов советской науки: И.В.Курчатов, А.П.Александров, В.М.Тучкевич. Возможно, именно работа в суровых условиях фронта, в которой ошибок быть не могло, дала всем им важное для их будущих миссий обостренное чувство личной ответственности за вверенное дело, умение добиваться успеха имеющимися в распоряжении средствами, закалила их как будущих военачальников на фронтах советской науки.

## Упрочнение танковой брони

Итак, в декабре 1941 г. Курчатов возвратился в Казань и, простудившись в дороге, свалился со страшной пневмонией. Два месяца с помощью Марины Дмитриевны он боролся за жизнь. Отпустил бороду, как говорил «до Победы», но оказалось, что навсегда. (Скоро он станет научным руководителем советского атомного проекта, и его старое физтеховское прозвище Генерал заменит новое — Борода, поскольку генералом он был уже и так — по должности).

В начале 1942 г. умер начальник Броневой лаборатории (Лаборатория №3 Казанской группы ЛФТИ) В.Л.Куприенко. Это была большая потеря для ЛФТИ. Лаборатория вела исключительно важные для обороны страны исследования. На освобожденную должность Иоффе назначают Курчатова, который руководит лабораторией в 1942–1943 гг. Не будучи специалистом в области прочности материалов, Игорь Васильевич с головой ушел в новую для себя тематику. В это время в Лаборатории, в ответ на появление у немецкой армии кумулятивных снарядов (фауст-патронов), успешно занимались разработкой «экранированной» танковой брони. В мае 1943 г. в Красной армии имелось два полка «экранированных» танков, за перемещением которых (по воспоминаниям заместителя командующего бронетанковыми войсками генерала Н.И.Бирюкова [9]) пристально следил сам Верховный главнокомандующий. Работа Лаборатории №3 по экранированию танковой брони даже выдвигалась на Сталинскую премию.

Чтобы получить полное представление об огромной работоспособности Курчатова, следует принять во внимание, что с осени 1942 г. он параллельно с руководством Броневой лабораторией (на этом посту он останется до 14 августа 1943 г.) начинает важнейшее дело своей жизни, связанное с советским атомным проектом, который в то время назывался «урановым» [10].

## Возвращение к урану

Начало «урановому проекту» положило распоряжение Государственного комитета обороны №2352-фм «Об организации работ по урану» от 28 сентября 1942 г., выпущенное в тяжелый для



страны период битвы под Сталинградом. Оно было инициировано обращением А.Ф.Иоффе и С.В.Кафтанова в ГКО на имя В.М.Молотова, которое опиралось на результаты проводимых в АН СССР работ по урановой проблеме и на данные разведки\*.

В распоряжении, в частности, записано: «Обязать АН СССР (академик Иоффе) возобновить работы по исследованию осуществимости использования атомной энергии при расщеплении ядра урана. Представить ГКО к 1 апреля 1943 года доклад с возможности создания урановой бомбы или уранового топлива. Для этой цели:

1. Президиуму Академии наук СССР:

а) Организовать при Академии наук специальную лабораторию атомного ядра...

<...>

7. Обеспечить к 5 октября 1942 года доставку самолетом в г. Казань из г. Ленинграда принадлежащих ФТИ АН СССР 20 кг урана и 200 кг аппаратуры для физических исследований\*\*.

Иоффе подключает Игоря Васильевича к выполнению распоряжения ГКО по урану. Осенью 1942 г. Курчатов готовит для ГКО аналитические записки, опирающиеся на данные разведки, которыми его начинают снабжать во время командировок в Москву. Бесспорно, разведанные играли очень важную роль, но разобраться в них даже специалисту по ядерной физике было непросто. А из нескольких человек, способных понять, не все имели бы смелость написать прямо и честно, зная, кто все это будет читать. Курчатов смог с успехом сделать и то и другое.

Его записки помогли на самом «верху» осознать, что надо серьезно разворачивать в стране работы по атомной бомбе. Требовался научный руководитель работ. Обратились к Иоффе. Он отказался и рекомендовал Курчатова. Распоряжением ГКО №2872-сс от 11 февраля 1943 г. на последнего было возложено научное руководство работами по урану, а также подготовка к 5 июля 1943 г. доклада в ГКО о возможности создания урановой бомбы или уранового топлива.

## Рождение «Курчатника»

Распоряжением №122 от 10 марта 1943 г. по АН СССР за подписью вице-президента АН СССР академика А.А.Байкова И.В.Курчатов назначается\*\*\* начальником Лаборатории №2. Сама же лаборато-

\* До этого были обращения о возможности создания ядерной бомбы, в том числе на имя И.В.Сталина, со стороны Г.Н.Флёрова, Н.Н.Семенова, А.Ф.Иоффе. В США начало Манхэттенскому проекту было положено обращением американских ученых на имя президента Т.Д.Рузвельта.

\*\* Имелась в виду наиболее ценная часть оборудования для циклотрона ЛФТИ.

\*\*\* В то время Курчатов руководил Броневой лабораторией в Казанской группе лабораторий ФТИ.

рия создается в апреле 1943 г. другим распоряжением по АН СССР. 30 июля 1943 г. Курчатов направляет докладную записку Молотову о работе нового коллектива за первое полугодие 1943 г. В ней впервые отмечена реальность планов создания атомной бомбы — «урановый проект» постепенно переходил в «атомный».

Примечательно, что приказ Иоффе №86 по Казанской группе ЛФТИ об организации Лаборатории №2 был выпущен с большой задержкой — 14 августа 1943 г. Приведем его текст целиком:

1. Организовать лабораторию в следующем составе: 1. Курчатов И.В., 2. Алиханов А.И., 3. Корнфельд М.О., 4. Немёнов Л.М., 5. Глазунов П.Я., 6. Никитин С.Я., 7. Щепкин Г.Я., 8. Флёров Г.Н., 9. Спивак П.Е., 10. Козодаев М.С., 11. Джелепов В.П.

2. В дальнейшем лабораторию именовать «Лаборатория №2».

3. Заведующим Лаборатории №2 назначить профессора И.В.Курчатова.

4. Весь состав считать переведенным в Москву на постоянную работу.

5. Профессора И.В.Курчатова освободить от заведования Лабораторией №3.

6. Заведующим лабораторией назначить профессора Ф.Ф.Витмана.

7. За проявленную инициативу и исключительно добросовестное отношение при выполнении задания Лаборатории №2 премировать старшего научного сотрудника Л.М.Немёнова и главного инженера П.Я.Глазунова по 1000 рублей каждого\*.

Директор ЛФТИ  
академик А.Ф.Иоффе

За что же была выплачена такая огромная по тем временам премия? Обратимся к благодарственному письму, адресованному работникам Ленинградского филиала ЛФТИ:

### СОТРУДНИКАМ ЛЕНИНГРАДСКОГО ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

Дорогие товарищи!

Коллектив Лаборатории атомного ядра приносит вам, работникам Физико-Технического Института, по сей день работающим в Ленинграде, свою глубокую благодарность и признательность.

Только благодаря вашей самоотверженной работе в труднейших условиях блокады вам удалось наряду с текущей работой сохранить и сберечь Институт и его оборудование. В частности, вам мы обязаны тем, что ценнейшее оборудование ядерной лаборатории, созданное и приобретенное годами упорной работы коллектива ядерных лабораторий, оказалось в сохранности и может в нужный момент быть использовано.

\* Задание подразумевало доставку в Москву оборудования ленинградского циклотрона ЛФТИ.



*Не ограничиваясь этим, вы оказали нам сейчас огромную помощь при изготовлении и отправке оборудования, весьма необходимого для нашей работы.*

*Все эти факты выходят далеко за пределы общепринятых понятий дружбы и товарищества.*

*Мы глубоко тронуты вашим отношением к нам и хотим верить, что наша совместная работа еще впереди и что мы сможем, хотя бы в небольшой степени, отплатить вам тем же.*

Подчеркнем, что цитированное письмо Курчатов и его 19 сотрудников подписывают не от имени Лаборатории №2, а от уже несуществующей Лаборатории атомного ядра ЛФТИ, входившей в структуру довоенного ЛФТИ, подчеркивая этим факт преемственности. Доставленное из Ленинграда оборудование циклотрона ЛФТИ позволило Курчатову запустить циклотрон Лаборатории №2 в сжатые сроки — уже в 1944 г.

Отмеченная выше полугодичная задержка с изданием приказа Иоффе по ЛФТИ от 14 августа 1943 г. по сравнению с распоряжением Президиума АН СССР станет понятной, если учесть, что Лаборатория №2 в 1943 г. еще не была финансово независимой от ЛФТИ, т.е. по сути существовала на правах ее московского филиала. Не торопясь с изданием приказа, Иоффе подстраховывал Курчатова своей поддержкой по финансовым и научно-организационным вопросам.

Лишь в декабре 1943 г. распоряжением по Академии наук Лаборатория №2 получила финансово-хозяйственную самостоятельность. И только 27 января 1944 г. Игорь Васильевич был снят с денежного довольствия и исключен из штата ЛФТИ.

Обзор без малого 19-летнего физтеховского этапа жизни и научного творчества И.В.Курчатова завершим справкой о должностях, которые он занимал в ЛФТИ в 1925–1943 гг. [1]. Бросаются в глаза две карьерные лестницы: «твердотельная» и «ядерная», переход между которыми сопровождался формальным понижением в должности 16 де-

кабря 1932 г., когда Игорь Васильевич Курчатов сделал крутой поворот от физики твердого тела к физике атомного ядра. Занимаемая должность для Курчатова была не самоцелью, а, скорее, средством для реализации несравненно более важного в жизни: выбранной научной тематики, реализуемого проекта. Его отвлечение для работы в группе размагничивания в 1941 г. (не отраженное в справке) показывает, что он был человеком с обостренным чувством долга, готовым жертвовать личными интересами даже в науке во имя государственных.

## Курчатов и Иоффе

«Я знаю только один способ программирования открытий, — сказал известный физик Манфред фон Арденне. — Способ советского физика А.Ф.Иоффе: сформировать такую школу, создать такой климат, при котором вероятность открытий резко возрастает». Вот в этой-то научной школе Иоффе в ЛФТИ и проходило становление Курчатова как выдающегося ученого и организатора.

Несмотря на то что в момент поступления в ЛФТИ Курчатов был вдвое моложе Абрама Федоровича, между ними быстро установились особые дружеские, теплые и доверительные взаимоотношения, что прослеживается по их переписке во время длительной заграничной командировки Иоффе в США в 1926–1927 гг., связанной с чтением им курсов лекций в Массачусетском технологическом институте и Калифорнийском университете.

С годами совместной работы и по мере уменьшения относительной разности в возрасте эта дружба только укреплялась. Возможно, этому способствовала беспредельная преданность Игоря Васильевича науке, необыкновенная целеустремленность и запредельная работоспособность.

В качестве примера той поддержки, которую Иоффе оказывал Курчатову, можно вспомнить историю с выборами в Академию наук СССР, в сентябре 1943 г. Игорь Васильевич Курчатов выдвигался от

ЛФТИ Ученым советом вместе с другими выдающимися учеными: А.И.Алихановым (в академии), А.П.Александровым и П.П.Кобеко (оба — в члены-корреспонденты). Особая сложность для Курчатова, однако, состояла в выдвижении сразу в действительные члены Академии, минуя звание члена-корреспондента, что не принято в академической среде. По-видимому, «давило» руководство страны, исходя из важнейшей роли Курчатова в атомном проекте. Чтобы усилить позицию Курчатова на выборах, Иоффе дал ему свою рекомендацию-отзыв. Писал Иоффе о нем

**Должности, занимаемые И.В.Курчатовым в ЛФТИ**

№ п/п	Дата назначения	Должность
1*	1 октября 1925 г.	Научный сотрудник 1-го разряда
2*	1 марта 1928 г.	Старший инженер-физик
3*	16 сентября 1930 г.	Зав. лабораторией сегнетоэлектриков
4	18 сентября 1930 г.	Зав. отделом общей физики
5	1 июля 1931 г.	Начальник группы физики кристаллов
6	16 декабря 1932 г.	Зам. начальника особой группы по ядру
7	1 мая 1933 г.	Начальник отдела ядерной физики
8	16 февраля 1934 г.	Начальник отдела физики ядра
9	16 ноября 1936 г.	Зав. лабораторией ядерных реакций
10	апрель 1942 г.	Зав. лабораторией №3 ФТИ
11	август 1943 г.	Зав. лаборатории №2

\* Данные взяты из трудовой книжки И.В.Курчатова, хранящейся в Архиве ИАЭ. Остальные сведения почерпнуты из Архивов ФТИ имени А.Ф.Иоффе и ИАЭ имени И.В.Курчатова.

и на страницах «Правды» [1]: «Все товарищи по институту знают стиль его работы. Месяцы и годы работает он по 12–15 часов в сутки; все мысли его направлены к одной цели — к решению поставленной задачи. Какие явления еще привлечь к выяснению возникших трудностей; как усовершенствовать и уточнить методику и приборы; какие выводы можно сделать из наблюдаемых фактов; каков скрытый внутренний механизм явления — вот чем живет Курчатов. Ища ответы на эти вопросы, он заинтересовывает ими не только своих учеников, своих товарищей, но и многих физиков Москвы и Ленинграда. Все мы под влиянием его глубокого энтузиазма вовлекаемся в круг его интересов». Начались выборы. Игорь Васильевич благополучно прошел через голосование Отделения физико-математических наук, но 27 сентября на Общем собрании не получил необходимой поддержки. Президиум АН тут же обратился в правительство с просьбой разрешить использовать три незанятых в ходе выборов вакансии по гуманитарным наукам для довыборов по Отделению физико-математических наук. Разрешение было получено. На следующий день Общее собрание избрало Игоря Васильевича Курчатова академиком.

Многочисленные примеры, в том числе, из настоящей статьи, показывают, какое огромное значение поддержка со стороны Иоффе сыграла в судьбе Курчатова и реализуемых им проектов.

Думается, что та взаимность, которой Игорь Васильевич отвечал на это (характерно приветствие Лаборатории №2 АН СССР в связи с 25-летием со дня основания ФТИ АН СССР [3, док.11]), была важна для Абрама Федоровича не только в этическом плане. Поддерживая Курчатова и работы по руководимым им проектам, Иоффе самореализовывался как ученый-организатор в новых, недоступных лично для себя, сферах деятельности.

## Курчатов и развитие ЛФТИ

Ленинградский Физтех активно включился в работы по Атомному проекту, научным руководителем которых был Курчатов. 26 июня 1944 г. Курчатов и Алиханов обращаются в правительство на имя Молотова с просьбой о завершении строительства циклотрона ЛФТИ в связи с особой важностью работ по урану, где он должен был быть задействован [5, док.245]. В январе 1945 г. по решению правительства работы по сооружению циклотрона ЛФТИ были возобновлены. Запущенная в 1946 г., эта установка нарабатывала плутоний для атомной бомбы\*.

\* По окончании военной тематики на Циклотроне успешно вели фундаментальные научные исследования. Сегодня он используется для проведения прикладных работ. Все его «сверстники» — циклотроны, которые были построены в мире примерно в те же годы, давно выведены из эксплуатации, превращены в музеи или стали металлоломом).

Организованную в 1945 году Государственную программу по разделению изотопов для ядерного (а потом и термоядерного) оружия возглавил Борис Павлович Константинов, будущий директор ЛФТИ. В ходе работ по водородной бомбе он руководил в Физтехе исследованиями по разделению изотопов лития и спроектировал цех по разделению изотопов на Кирово-Чепецком химкомбинате (которому позднее присвоили его имя). В 1946 г. было образовано два отдела ЛФТИ (руководители А.П.Александров и Л.А.Арцимович) по разработке методов разделения изотопов урана. Всего в то время в Атомном проекте участвовало порядка двух сотен работников ЛФТИ, включая практически всех ведущих ученых [11].

Немного позднее в ЛФТИ под руководством Л.И.Русинова разрабатывались детекторы для испытаний ядерного оружия.

В целом, огромный вклад ЛФТИ в создание советского ядерного и термоядерного оружия до сих пор остается значительно недооцененным (см., например, [3, 10]) в силу того обстоятельства, что многочисленные рабочие документы были засекречены до сравнительно недавнего времени и только теперь начинают становиться предметом исследований историков науки [11].

Постепенно ядерным исследованиям становится тесно в зданиях ЛФТИ на Политехнической улице. С середины 50-х годов прошлого века ЛФТИ начал создавать свой филиал в Гатчине, первоначально с реакторным и ускорительным направлениями исследований (с 1972 г. он стал Ленинградским институтом ядерной физики).

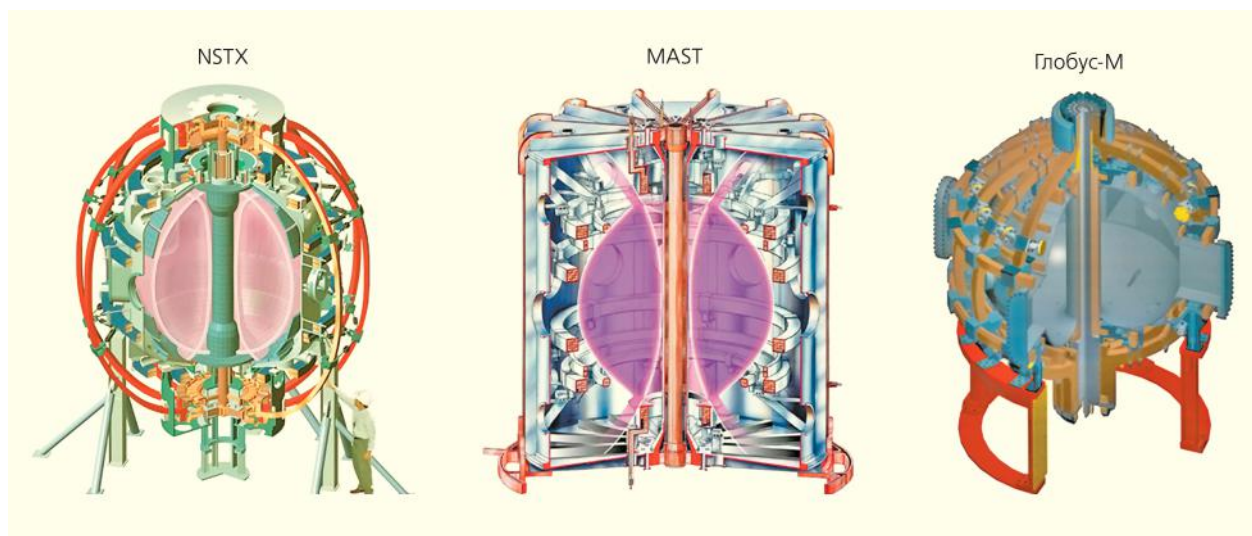
После атомного проекта и создания водородной бомбы в жизни Игоря Васильевича был еще один важнейший проект — создание ядерной энергетики. В стране был построен атомный подводный флот, ледоколы\*\*. Возникли связанные с ними новые отрасли промышленности. На плечи Курчатова легла тяжелая ответственность руководить в научном плане всей атомной наукой и техникой СССР. Но при этом всегда был главным для него проект, который он возглавлял непосредственно.

Последним таким проектом стал термоядерный.

## Неоконченное

В 1956 г. И.В.Курчатов, будучи в составе правительственной делегации СССР во главе с Н.С.Хрущевым в Англии, выступил в г. Харуэлле со своим знаменитым докладом. Суть его состояла в том, чтобы рассекретить все работы ученых мира в области термоядерной физики, объединить их усилия в решении важнейшей для энергетики мира задачи — мирного использования энергии термоядерного синтеза, неисчерпаемого источника энергии для человечества.

\*\* Огромную роль в этом сыграл А.П.Александров.



Лучшие сферические токамаки мира: NSTX — Лаборатория физики плазмы (Принстон, США), MAST — Калемский научный центр (Абингтон, Великобритания), «Глобус-М» — ФТИ имени А.Ф.Иоффе (Санкт-Петербург, Россия).

Последние годы своей жизни Игорь Васильевич посвятил этой проблеме. Понимая, что не обойтись без подключения к ее решению новых сил исследователей, поддержал предложение о сооружении установки «Альфа» в Ленинграде. В начале 1958 г. создает коллаборацию по проблеме управляемого термоядерного синтеза (УТС) с участием ведущих институтов и физиков СССР. В книге его коллеги по работе над проектом УТС — И.Н.Головина — приводится фраза Курчатова о том, что надо Физтех подымавать на эту работу [2].

Ветераны Физтеха помнят визит Курчатова в ЛФТИ в конце 50-х годов. В институте его ознакомили с развивавшимися здесь методами диагностики горячей (термоядерной) плазмы\*. Игорь Васильевич остался доволен. А его фраза про Физтех оказалась пророческой: ФТИ активно подключился к исследованиям проблемы управляемого термоядерного синтеза. Огромную роль в этом сыграл академик Виктор Евгеньевич Голант и созданная им научная школа.

Физтех нашел в термоядерном направлении свои ниши: системы диагностики и компактные сферические токамаки [12]. В настоящее время половина из систем диагностики, поставляемых Россией для Международного проекта термоядерного реактора ИТЕР, изготавливается в ФТИ. Физтеховский сферический токамак «Глобус-М» входит в тройку лучших аналогичных установок мира наряду с NSTX (Лаборатория физики плазмы, Принстон, США) и MAST (Калемский научный центр, Абингтон, Великобритания). В настоящее время завершается его модернизация, направленная на существенное улучшение основных параметров («Глобус-М2»)

\* По воспоминаниям М.П.Петрова.

## Гений глобальных проектов

Игорь Васильевич Курчатова не воспользовался имевшейся у него возможностью собрать у себя в институте (Лаборатория измерительных приборов АН, затем Институт атомной энергии) многочисленные научные и технические направления, рожденные в ходе реализации его крупномасштабных проектов. Наоборот, для осуществления этих проектов он всячески способствовал созданию и развитию новых научно-технологических центров в стране (многие из которых сейчас собраны в Росатоме) — подобно тому, как поступал его учитель Иоффе, развивая многочисленные направления, зарождавшиеся в лабораториях ЛФТИ.

Несмотря на грандиозность решаемых задач, руководимый Курчатовым институт оставался учреждением, управление которым не занимало его время полностью, всегда оставляя ему возможность концентрироваться на конкретных проектах — главном деле его жизни. Мы возвращаемся к мысли о том, что Курчатова был «человеком проекта». Только теперь невероятно расширились масштабы его работы: он превратился в гениального организатора глобальных государственных научно-технических программ, которыми жил и в которых разбирался от сути до мелочей. Увлекая за собой многочисленных участников и тех, от кого зависело осуществление этих проектов, он создавал вокруг себя атмосферу «восторженного труда» [2].

Здоровье Игоря Васильевича не выдержало невероятных темпов работы и гигантских перегрузок. За первым ударом в мае 1956 г. последовал второй — в феврале 1957 г. После него новому типу разрабатываемого импульсного атомного ре-



актера Курчатов дал трагически-шутливое название «ДоУдТри». Оно означало, что реактор должен был быть испытан до третьего удара...

Примерно в то же время он сказал [2]: «Хороша наука — физика! — Только жизнь коротка!». Дал важное напутствие молодым: «Делайте в работе,

в жизни только самое главное. Иначе второстепенное, хотя и нужное, легко заполнит всю вашу жизнь, возьмет все силы, и до главного не дойдете... Исследуйте то, что ведет вас к цели...».

7 февраля 1960 г. Игоря Васильевича не стало. Ему было всего 57... ■

## Литература / Reference

1. Гринберг А.П., Френкель В.Я. Игорь Васильевич Курчатов в Физико-техническом институте (1925–1948). Л., 1984; 155. [Grinberg A.P., Frenkel V.Ya. Igor Vasilyevich Kurchatov at the Physical-Technical Institute (1925–1948). Leningrad, 1984; 155. (In Russ.)]
2. Головин И.Н. И.В.Курчатов. М., 1972. [Golovin I.N. I.V.Kurchatov, Moscow, 1972. (In Russ.)]
3. Тучкевич В.М., Френкель В.Я. Вклад академика А.Ф.Иоффе в становление ядерной физики в СССР. Л., 1980. [Tuchkevich V.M., Frenkel V.Ya. Contribution of Academician A.F. Ioffe to the Development of Nuclear Physics in the USSR. Leningrad, 1980. (In Russ.)]
4. Иоффе А.Ф. Отчет о работе Ленинградского физико-технического института. Изв. АН СССР. Сер. физ. 1936; 7–33. [Ioffe A.F. Report on work performed at Leningrad Physical-Technical Institute, Izv. Akad. Nauk SSSR. Ser. Fiz. 1936: 7–33. (In Russ.)]
5. Рябев Л.Д., Кудинова Л.И. Атомный проект СССР. Документы и материалы. Т.1: 1938–1945. Ч.1. М., 1998. [Ryabev L.D., Kudinova L.I. Atomic Project in the USSR. Documents and Materials. V.1: 1938-1945. Part 1. Moscow, 1998. (In Russ.)]
6. Трудный путь к победе. Физтеховцы о днях войны. СПб., 2012. [Hard Way to Victory. Fiztekh Staff Members War-time. SPb., 2012. (In Russ.)]
7. Коптев Ю.И. Филиал ЛФТИ (1941–1945 гг.). СПб., 2011. [Koptev Yu.I. Branch of LFTI (1941–1945). SPb., 2011. (In Russ.)]
8. Дьяков Б.Б. Физико-технический институт в годы Великой Отечественной войны. СПб., 2006. [D'yakov B.B. Physical-Technical Institute during Great Patriotic War. SPb., 2006. (In Russ.)]
9. Бирюков Н. Танки — фронту! Записки советского генерала. Смоленск, 2005. [Biryukov N. Tanks to Forefront! Memoirs of a Soviet General. Smolensk, 2005. (In Russ.)]
10. Забродский А.Г. Вклад ученых в Великую Победу на примере ЛФТИ. УФН. 2013; 183(5): 518–528. [Zabrodskii A.G. Contribution of scientists to the Great Victory, with LFTI as an example. Usp. Fiz. Nauk. 2013; 183(5): 518–528. Doi:10/3367/UFNr.0183.201305g.0518]
11. Дьяков Б.Б. ФТИ и первые шаги к атомной бомбе. Участие в Атомном проекте СССР. Сер. Из истории ФТИ им. А.Ф.Иоффе. Вып.5. СПб., 2013. [D'yakov B.B. FTI and the First Steps toward Nuclear Bomb. Involvement in the Atomic Project of the USSR. Ser. History of Ioffe FTI. Issue 5. SPb., 2013. (In Russ.)]
12. Забродский А.Г. Исследования и разработки ФТИ им. А.Ф.Иоффе в области альтернативной энергетики и экологии. Альтернативная энергетика и экология. 2012; 5–6: 22–39. [Zabrodskii A.G. Activities of the Ioffe Physical-Technical Institute in the Field of Alternative Power Engineering and Ecology. Al'tern. Energ. Ekol. 2012; 5–6: 22–39. (In Russ.)]

## Kurchatov and Physical-Technical Institute (Ioffe Institute)

A.G.Zabrodskii

*Ioffe Physical-Technical Institute, RAS (Saint Petersburg, Russia)*

The hundred years of the Ioffe Institute is a glorious history of scientific discoveries and achievements and ambitious projects, which had far-reaching effects on the development of the economy and the defense capability of our country. Igor Vasilyevich Kurchatov is the most striking and significant person in the cohort of outstanding scientists, science administrators brought-up by the scientific school of Academician Abram Fedorovich Ioffe at the Leningrad Physical-Technical Institute (LFTI). The projects headed by I.V.Kurchatov predetermined the development of the LFTI itself. In addition to both of them, this essay has one more hero, A.F.Ioffe, who was not only the teacher, but also an elder friend of Kurchatov, and invariably supported his younger colleague at hard times of his life. However, the LFTI of that time and the first Director of the Institute, Ioffe, are certainly inseparable entities.

**Keywords:** I.V.Kurchatov, A.F.Ioffe, Leningrad Physical-Technical Institute, ferroelectricity, nuclear physics, cyclotron, demagnetization of naval ships, Armor laboratory, soviet atomic project, Laboratory №2, controlled thermonuclear fusion.

# Два портрета: А.А.Чернышёв и П.П.Кобеко

кандидаты физико-математических наук Р.Ф.Витман<sup>1</sup>, Е.В.Куницына<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Физико-технический институт имени А.Ф.Иоффе РАН (Санкт-Петербург, Россия)

В разные годы А.А.Чернышёв и П.П.Кобеко сыграли огромную роль в организации, развитии и сохранении Физико-технического института (ФТИ). Чернышёв в 1918 г. по просьбе А.Ф.Иоффе взял на себя создание технической базы Физико-технического отдела Государственного рентгенологического и радиологического института, позднее он руководил техническим отделом Физтеха. Кобеко, «блокадный директор», сохранил в осажденном городе работающий институт и тех сотрудников, кто не был эвакуирован в Казань. Александр Алексеевич Чернышёв (1882–1940) — выдающийся ученый-практик, академик АН СССР (1932), заместитель директора ФТИ (1921–1931), директор Ленинградского электрофизического института (1931–1935). С 1908 г. работал в Ленинградском политехническом институте (с 1919 г. — профессор). Специалист в области радиотехники, электротехники, автоматики и телемеханики, один из первых разработчиков систем отечественного телевидения. Крупный изобретатель, имевший около 50 патентов на изобретения. Участвовал в разработке плана ГОЭЛРО. Лауреат премии имени В.И.Ленина (1930). Павел Павлович Кобеко (1897–1954) — физик и физикохимик, член-корреспондент АН СССР (1943). Работал в ФТИ (1924–1952), директор Ленинградского филиала ФТИ во время блокады Ленинграда; в 1952 г. перешел в Институт высокомолекулярных соединений АН СССР. С 1930 г. преподавал в Ленинградском политехническом институте (с 1935 г. — профессор). Специалист в области физики диэлектриков, сегнетоэлектричества, физики и физической химии аморфных тел.

**Ключевые слова:** Физико-технический институт, А.А.Чернышёв, П.П.Кобеко, история науки.

В главном здании Физтеха размещена галерея из 174 портретов ученых, внесших неоценимый вклад в развитие отечественной и мировой физики и отмеченных в свое время государственными премиями. Портреты многих физиков, работы которых навсегда вошли в историю отечественной науки, хранятся также в Музее ФТИ. Биографии этих выдающихся физтеховцев с перечислением научных достижений составили бы целый фолиант. Здесь мы ограничимся рассказом о двух сотрудниках, чья организационная роль в разные годы оказалась принципиально важной для института. Открывает галерею портрет Александра Алексеевича Чернышёва. Он был удостоен в 1930 г. Ленинской премии за научные работы в области технической физики, связанные с планом ГОЭЛРО, но его физтеховская история берет начало с самого основания института.

## А.А.Чернышёв — правая рука Иоффе

Александр Чернышёв родился в 1882 г. в селе Ловинь Городницкого уезда Черниговской губернии в семье юриста. Окончил Немировскую мужскую гимназию Каменец-Подольской губернии\* с золо-

\* В шестиклассной прогимназии для девочек в Немирове училась М.Г.Подгородецкая, будущая жена А.А.Чернышёва [2, с.8].



Александр Алексеевич Чернышёв, 1940 г.

той медалью и в 1902 г. по конкурсу аттестатов стал одним из первых студентов электромеханического отделения (в 1918 г. переименованного в факультет) Санкт-Петербургского политехнического института. Александр увлеченно учился, на последнем курсе уже вел самостоятельные научные исследования. В конце 1907 г. он окончил Политех с квалификацией «инженер-электрик» и был оставлен в институте для подготовки к профессорскому званию. Первая научная работа молодого ученого, результаты которой были представлены в 1908 г. на V Всероссийском электротехническом съезде и опубликованы в «Известиях С.-Петербургского Политехнического института», посвящена исследованию пробоя диэлектриков. Для измерения высоких напряжений требовались принципиально новые приборы, и Чернышёв создал первый в мире высоковольтный вольтметр\* для измерения напряжения постоянного и переменного тока до 180 кВ, а затем и высоковольтный ваттметр [1]. В 1909–1912 гг. Чернышёв был командирован в Швейцарию и Германию, где посещал электротехнические предприятия, а также в Италию для участия в выставке. Его интересовала организация научной работы и лабораторных занятий в знаменитом Гёттингенском университете. Вернувшись на родину, Александр Алексеевич под руководством профессора М.А.Шателена приступил к проектированию и строительству исследовательской высоковольтной лаборатории Политехнического института.

В 1912 г. за выдающиеся работы в области высоковольтной электротехники Чернышёв был удостоен Русским техническим обществом золотой медали и премии имени К.Ф.Сименса. Через год, после защиты диссертации на тему «Абсолютные измерения в высоковольтных цепях», он был командирован в США, в компанию General Electric, к самому Томасу Эдисону — в качестве стипендиата Министерства торговли и промышленности для изучения высоковольтной техники и ознакомления с производством электротехнического оборудования. Но в General Electric его не приняли, и он поступил в фирму Westinghouse Electric рабочим-электриком, затем его перевели на должность инженера. Александр Алексеевич находился в Америке вместе со своей семьей — женой Мариной Гавриловной, сыном Вадимом и дочерью Мариной\*\* [2, с.20]. Чернышёвы были знакомы с детства и поженились в 1906 г., когда Александр еще учился в Политехническом инсти-

\* Еще в 1910 г. А.Ф.Иоффе после очередного посещения лаборатории В.К.Рентгена сообщил в письме жене, что передал Рентгену «чернышёвский электромметр», который того явно заинтересовал [3, с.89].

\*\* В 1998 г. Марина Александровна Чернышёва (в соавторстве с Владимиром Юрьевичем Рогинским) выпустила важную для истории науки книгу, посвященную биографии своего отца (см. [2]).

туте. Он, как это было тогда положено, получил разрешение на брак у директора института, князя Андрея Григорьевича Гагарина, и стал первым семейным студентом Политеха [2, с.14].

Началась Первая мировая война, и Александр Алексеевич не согласился остаться на постоянной работе в США и вернулся с семьей уже в Петроград, в родной Политех. К 1914 г. Россия не имела ни радиотехнической промышленности, ни своих специалистов в этой области. Их надо было обучать\*\*\*, и при электромеханическом отделении Политехнического института были созданы курсы по подготовке радистов-операторов из числа студентов-выпускников. Чернышёв вел на этих курсах занятия по радиотелеграфии. Кроме преподавания он продолжил начатые до войны работы по созданию радиотелемеханических устройств для военно-морских судов и морской крепостной артиллерии.

В 1912 г. в Петербурге начал действовать кружок теоретической физики под руководством Пауля Эренфеста, «которому мы обязаны восстановлению первых связей в 1920 г. с европейской наукой и который руководил лучшими русскими теоретиками» [5, с.218]. Затем, в 1916 г., профессор Политехнического института Абрам Федорович Иоффе организовал физический семинар (Чернышёв и его будущая вторая жена Ядвига Ричардовна Шмидт\*\*\*\* участвовали в семинарах).

В 1916–1918 гг. Чернышёв принимал участие совместно с Г.О.Графтио в проектировании гидроэлектрической станции и работах по электрификации железнодорожных путей на Северном Кавказе. Он разработал оригинальные методы уменьшения перенапряжения и помех, возникающих в линиях электропередачи. В 1918 г. Чернышёв предложил свое знаменитое «эриксонское» изобретение — эквипотенциальный термокатод (российские патенты №159 от 31 августа 1918 г. и №263 от 24 мая 1921 г., патент Великобритании №131680 от 31 июля 1918 г., переданный фирме Ericsson) [1].

Когда осенью 1918 г. по инициативе профессоров М.И.Немёнова и А.Ф.Иоффе при Наркомате просвещения РСФСР был создан Государственный рентгенологический и радиологический институт (ГРРИ), Абрам Федорович, как президент ГРРИ,

\*\*\* Быстрый технический прогресс требовал также решения глобальной задачи — создания новой системы обучения физике в России. Хотя в 1900-х годах физиков в России стало больше (в 1900 г. их было 36, к 1909 г. — уже 195), физический журнал издавался всего один — «Журнал Русского физико-химического общества» (за год выходило девять номеров). Для сравнения: в Германии в то время было 962 физика и выпускалось шесть физических журналов [4, с.47].

\*\*\*\* Иоффе писал: «...Ядвигой Ричардовной я пока очень доволен; она быстро схватывает и хорошо разбирается в поставленной ей задаче и имеет некоторый лабораторный навык. Вообще учениками своими я доволен» [3, с.190–191].



предложил своему коллеге по Политехническому институту Чернышёву стать сотрудником нового исследовательского подразделения. Чернышёв, входящий, по словам Иоффе, в «наиболее живые силы электротехники» [5, с.65], предложение принял. Вместе они приступили к созданию Физико-технического отдела ГРРИ, который также возглавил Иоффе (институт состоял из нескольких отделов, и именно Физико-технический считается прародителем нынешнего Физтеха). С тех пор их совместная работа не прекращалась [6, с.22].

Коллегами А.Ф.Иоффе и А.А.Чернышёва в тот период были такие физики, как Н.Н.Семёнов, Я.И.Френкель, В.Р.Бурсиан, П.Л.Капица, Я.Г.Дорфман, Р.С.Коловрат-Червинский, В.М.Кирпичёва, Ю.А.Крутков, П.И.Лукирский, Л.В.Мысовский, Д.В.Скобельцын, Я.Р.Шмидт и многие другие. К началу 1919 г. в институте работало уже около 20 научных сотрудников. Все они были очень молоды, даже «старшему физику» Р.С.Коловрат-Червинскому еще не исполнилось 35 лет. Из отчета о деятельности ГРРИ за 1919 г. от 27 апреля 1920 г. видно, какие важные исследования проводил Чернышёв: «...А.А.Чернышёв, Н.Я.Сеяков и М.М.Глаголев заканчивают выработку методов получения трубок Кулиджа\*»; А.А.Чернышёв занимается «конструкцией катодных реле и кинетронов большой мощности», «выработкой методов питания трубок постоянным напряжением в несколько сот тысяч вольт» (совместно с А.А.Горевым) и т.д. [5, с.17].

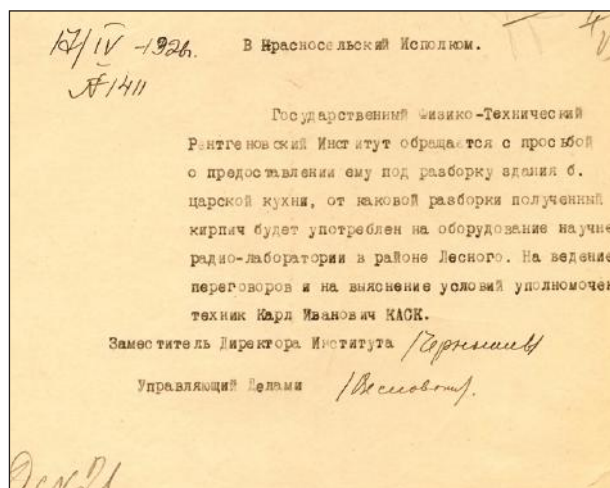
ГРРИ выпускал журнал «Вестник рентгенологии и радиологии», который выходил по мере накопления материала на четырех языках — русском, немецком, английском и французском. Чернышёв входил в редакционную коллегию Физико-технического отдела журнала (редактором был Иоффе).

В 1919 г. Иоффе внес в Совет Политехнического института проект создания первого в нашей стране физико-механического факультета для выпуска инженеров-физиков. Кроме классических курсов физики и математики планировалось преподавать студентам такие предметы, как электротехника и сопротивление материалов. Чернышёв принимал деятельное участие в этой организационной работе, вошел в преподавательский состав и члены собрания (с 1921 г. — Совета) факультета [5, с.270]. Интересно, что все студенты, поступившие на физико-механический в 1920 г. (шесть человек — Г.И.Аксёнов, А.Ф.Вальтер, Я.Д.Дорфман, В.Н.Кондратьев, Н.Н.Миролюбов, Ю.Б.Харитон [7, с.74]), через два года одновременно с учебой занимались исследованиями в Государственном физико-техническом рентгеновском институте (ГФТРИ), выросшем из Физико-технического отдела ГРРИ. Впоследствии этот факультет выпустил многих специалистов, которые стали сотрудниками Физтеха. Алек-

сандр Алексеевич был избран профессором радиотехники, в 1921 г. возглавил кафедру радиотехники, организованную на электромеханическом факультете, и был на два года избран деканом этого факультета. Судьба кафедры радиотехники, ликвидированной в 1929 г. на электромеханическом факультете и возродившейся на физико-механическом, могла бы стать темой отдельного исторического исследования.

Иоффе и Чернышёв были почти ровесниками, вместе создавали в разрушенной и разоренной стране новый вид учреждений физико-технического профиля. Они были оптимистами и энтузиастами. Чернышёв в 1920 г. писал жене: *Я вообще очень бодро смотрю вперед и считаю, что скоро Россия окажется впереди других стран, несмотря на теперешнюю разруху и бедствия* [2, с.34]. Хочется напомнить, что времена были трудные. Так, на исходе сентября 1921 г. Иоффе обратился с ходатайством в Наркомпрос об отпуске дров для обеспечения условий научной работы: *Я могу лично засвидетельствовать, что некоторые сотрудники работают ежедневно до 3-х часов ночи, значительная часть и я в их числе до 12 часов... из отделов вышла целая серия различных практических изобретений, начиная с новых типов рентгеновских трубок и кончая совершенно новым электромагнитным музыкальным прибором* [5, с.29]. Абрам Федорович напоминает в письме, что ценные приборы и материалы, купленные на 150 000 рублей, выделенных из золотого фонда страны, могут погибнуть, если не обеспечить топливом всю жизнь учреждения.

В ГФТРИ Чернышёв был заместителем директора и возглавлял технический отдел. В 1924 г. он стал заместителем Иоффе и в новом учреждении — Ленинградской физико-технической лаборатории (ЦФТЛ) при ВСНХ. В деле создания тех-



Письмо ГФТРИ от 17 апреля 1926 г. за подписью А.А.Чернышёва в Красносельский исполком с просьбой о предоставлении под разборку кирпичного здания бывшей царской кухни.

\* Изобретенная в 1913 г. американским физиком Уильямом Д.Кулиджем трубка представляет собой рентгеновскую высоковакуумную трубку с накаливаемым катодом.

нической базы как Физико-технического отдела ГРРИ, так и Физтеха Чернышёв был правой рукой Иоффе. Он подошел к вопросу технического оснащения института с высоким профессионализмом: были организованы электровакуумная лаборатория, механические и стеклодувные мастерские; исследовалась физика вакуума, работа вакуумных приборов; было налажено малосерийное производство электронных ламп, рентгеновских трубок и различных радиотелефонных устройств для опытной телефонной связи по проводам высоковольтных линий (последнее было осуществлено впервые в мире). Абрам Федорович отмечал: «...Он [А.А.Чернышёв. — Авт.] остался\* в ЛФТИ основным работником и был руководителем всего его технического отдела. Он создал здесь производство, которое в первые годы было связано с институтом, — производство рентгеновских трубок и радиотехнических установок, для изготовления которых заводов тогда не существовало. Александр Алексеевич был первым заместителем директора ЛФТИ\*\*» [8, с.170].

Налаженное в техническом отделе производство давало институту значительные дополнительные средства для оснащения. Осенью 1923 г. институт переехал в собственное здание, где и находится по настоящее время (Политехническая ул., 26).

В период создания и развития института Иоффе часто бывал в командировках в Европе и Америке. Абрам Федорович активно переписывался с Александром Алексеевичем — они обменивались информацией не реже двух раз в месяц. В эти годы ни в нашей стране, ни за рубежом не существовало эффективной защиты воздушных линий связи от опасных напряжений, появляющихся вследствие электромагнитной индукции. Чернышёв решил эту задачу в своем изобретении под названием «Разрядник для защиты линий слабого тока от перенапряжений» (приоритет от 19.05.1924 г.). Разрядники Чернышёва в течение многих лет применялись на отечественных линиях связи. Из других изобретений того времени следует отметить «ловушку Чернышёва» — устройство для поглощения энергии перенапряжения.

В 1929 г. Чернышёв снова посетил США — уже в ранге члена-корреспондента АН СССР. Как упоминалось выше, в 1930 г. Александру Алексеевичу была присуждена Ленинская премия за работу «Получение токов высокого постоянного напряжения значительной мощности, создание устройства защиты сетей от перенапряжений, участие в создании плана ГОЭЛРО». Почти все его работы по высоковольтной тематике имели непосредственное отношение к реализации плана ГОЭЛРО [2, с.56–65]. Построен-

\* В самом начале к решению задачи организации технической части института Иоффе привлек трех ученых-электротехников: кроме Чернышёва это были профессора М.А.Шателен и В.Ф.Миткевич (с 1929 г. — академик) [8, с.170].

\*\* ГФТРИ, ГФТИ, ЛФТИ (с 1933 г.).



В новом здании Физтеха, 4 февраля 1923 г. Слева направо: Г.А.Гринберг, М.П.Кристи, Н.Н.Семёнов, А.Ф.Иоффе, В.Р.Бурсиан, А.А.Чернышёв.

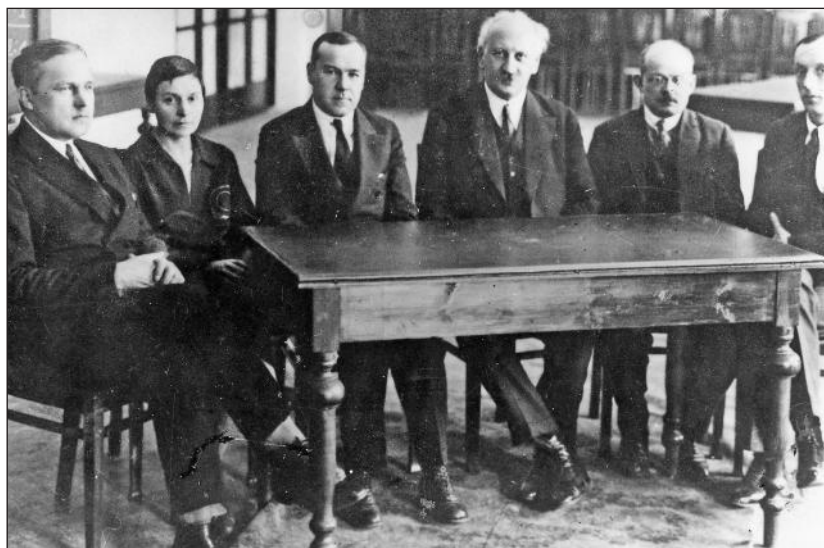
ная им в 1931–1932 гг. опытная высоковольтная линия позволила проводить проверку возможности передачи электроэнергии с высоким напряжением на большие расстояния\*\*\*. В мире такие линии появились более 25 лет спустя. Иоффе в статье «Физико-технический институт за 15 лет» (Сорена. 1933. Вып.8. С.160–164) отмечал большое значение работ Чернышёва, Глазанова, Ситникова для создания новой высоковольтной техники и перехода к постоянному напряжению [5, с.69]. Под руководством Чернышёва в техническом отделе ГФТРИ была разработана первая установка постоянного тока высокого напряжения, с ее помощью проведены испытания кабеля на заводе «Севкабель» и после его прокладки. В 1932 г. Александр Алексеевич был избран действительным членом АН СССР.

Когда с 1 января 1932 г. три отдела тогда уже ГФТИ получили статус институтов, Чернышёв стал директором одного из них — Ленинградского электрофизического института (ЛЭФИ), образованного из электрофизического отдела Физтеха. Непосредственно участвуя в создании ЛЭФИ, он привлек к работе многих ученых — Д.А.Рожанского, Н.Д.Папалекси, Ю.Б.Кобзарева, Н.Н.Андреева, А.П.Константинова, Ю.П.Маслаковца и других. Отдел передачи изображения и телевидения возглавил В.А.Дубинин, который, еще будучи студентом Политехнического института, работал в Физтехе под руководством Чернышёва. В ЛЭФИ были продолжены разработки преобразователей тока, фотоэлементов, газоразрядных приборов, начатые в Физтехе, велись работы по радиотехнике и технике электропередачи энергий большой

\*\*\* Борисов В.П. Чернышёв Александр Алексеевич ([www.ras.ru/nappelbaum/56ba7e33-41dc-47a1-acbd-dea62bdd219d.aspx](http://www.ras.ru/nappelbaum/56ba7e33-41dc-47a1-acbd-dea62bdd219d.aspx)).



Сотрудники ГФТРИ у входа в институт после научного заседания, 1926 г. У правой колонны стоят А.А.Чернышёв (слева), А.И.Обреимов и А.Ф.Прихотько. У левой колонны — Н.Н.Давиденков. Сидят: Ю.Б.Харитон, В.Н.Кондратьев, А.И.Шальников, Н.Н.Семёнов, А.Н.Теренин и др. На заднем плане: И.В.Курчатов, Ю.И.Вульф и др. Справа: А.В.Шубников, Б.М.Гохберг и др.



В Физтехе, 1930-е годы. Слева направо: В.Н.Дыньков, Я.Р.Шмидт, В.Р.Бурсиан, А.Ф.Иоффе, А.А.Чернышёв, П.И.Лукирский.

мощности при высоком напряжении, работы в области телевидения и многие другие.

Будучи директором ЛЭФИ, Чернышёв на общественных началах возглавил Комиссию по автоматике и телемеханике Технического отделения АН СССР, позднее преобразованную в Институт автоматике и телемеханики под руководством акаде-

мика В.С.Кулебакина. Комиссия провела Всесоюзную конференцию по автоматике, телемеханике и диспетчеризации, а с апреля 1936 г. приступила к выпуску журнала «Автоматика и телемеханика», первым главным редактором которого стал Чернышёв.

Курировал Александр Алексеевич и создание еще одного научного центра — в конце 1932 г. был организован Научно-исследовательский институт телемеханики (НИИТ, с весны 1933 г. — директор В.Г.Волоковский), куда из ЛЭФИ перевели отдел передачи изображения и телевидения, а также несколько лабораторий по телемеханике [9, с.40]. Вскоре, в сентябре 1935 г., на базе лабораторий НИИТ, ЛЭФИ и Центральной радиолaborатории был организован новый институт,

с которым связаны многие отечественные достижения в области «электрической телескопии», — Всесоюзный научно-исследовательский институт телевидения (ВНИИТ, директор В.Г.Волоковский). Первое время, до получения здания в Яшумовом пер., институт располагался в стенах Физико-технического института. Исследования по телевизи-



онной тематике возглавили: ученик Б.Л.Розинга А.П.Константинов, уже имеющий патент на передающую телевизионную трубку с эффектом накопления и двусторонней мишенью (1930), ученик А.А.Чернышёва Н.Д.Девятков, а также В.А.Дубинин, Я.А.Рыфтин, Б.В.Круссер и другие.

Иоффе, который всегда относился с большим вниманием к разработкам новой телевизионной техники и поддерживал исследования в этой области, писал: *«Александр Алексеевич Чернышёв — один из наиболее широко образованных инженеров-электронщиков. Обладая обширными и разносторонними знаниями, практическим чутьем инженера и поразительной трудоспособностью, А.А.Чернышёв за 25 лет своей деятельности опубликовал около 50 работ и получил столько же патентов. Ему принадлежит первая и лучшая система передачи изображения на расстоянии (осуществленная за 1,5 года до немецкого патента [А.] Каролюса). Ему вместе с группой его учеников удалось создать и наиболее совершенную систему телевидения [2, с.50].»*

Передачей изображений на расстояние Александр Алексеевич интересовался давно. Начало активных работ в Физтехе в области телевидения можно отнести к 1922 г. Этими вопросами в стенах Физтеха также занимались Лев Сергеевич Термен, которого еще в 1921 г. пригласил в Физтех Чернышёв, и Александр Павлович Константинов, пришедший в Институт по приглашению Иоффе в лабораторию Термена. В техническом отделе они налаживали изготовление сигнализационных устройств и другого оборудования. Термен и Константинов при участии А.Н.Бойко и П.Г.Стрелкова разработали установку механического телевидения [10, с.19]. В памятной речи об А.А. Чернышёве на заседании ученого совета ЛФТИ 23 апреля 1940 г. Иоффе сказал: *«Одной из первых крупных работ, проведенных им [Чернышёвым. — Авт.] уже в стенах института, была разработка передачи изображений на расстоянии. Эта система была не только выполнена на полтора-два года раньше, чем германская система «Telefunken», но по своим техническим показателям была не ниже, а значительно ее выше [8, с. 171].»*

Работы Чернышёва в области телевидения — это 13 патентов 20-х годов, в том числе система передачи неподвижных изображений, усовершенствование механической развертки, изобретение электрической развертки, идея передающей телевизионной трубки с использованием явления внутреннего фотоэффекта и др. [1]. Именно тогда Чернышёв предложил метод модуляции света при помощи воздействия электрического поля на специальные жидкости с резко выраженными явлениями Керра.

Даже после образования ЛЭФИ Чернышёв не прекратил контакты с Иоффе. Так, в 1934 г. в институте, в кабинете Иоффе, где в настоящее время

ПРОТОКОЛ  
СОВЕЩАНИЯ У АКАДЕМИКА А. Ф. ИОФФЕ

от 16. I. 34 г.

по вопросу исследования средств обнаружения самолетов ночью, в условиях плохой видимости и на больших высотах для целей противовоздушной обороны

Присутствовали:

1. Академик Иоффе А. Ф.
2. » Чернышев А. А.
3. » Вавилов С. И.
4. Профессор Андреев Н. Н.
5. » Папалекси Н. Д.
6. » Лебедев А. А.
7. » Рожанский Д. А.
8. » Линник В. П.
9. » Миллер Ф. А.
10. Нач. радиофакультета ВЭТА Яковлев.
11. Пом. директора Института телемеханики Андреев В. Н.
12. Научный сотрудник ЛЭФИ — Шембель Б. К.
13. » » Цимбалов В. В.
14. Научный сотрудник ФТИ — Харитон
15. » » Семенов
16. » » Гаврух.
17. Представитель УПВО РККА инженер Ощепков П. К.
18. Нач. КУКС ПВО — Хорошилов П. Е.
19. Нач. НИО КУКС ПВО — Жукоборский.

Слушали:

Сообщение представителя Управления противовоздушной обороны РККА инженера Ощепкова, начальника Курсов усовершенствования командного состава ПВО тов. Хорошилова и академика А. Ф. Иоффе о крайней необходимости в современных условиях противовоздушной обороны, в целях обеспечения боевого использования технических средств ПВО, конструирования приборов, обеспечивающих обнаружение самолетов на больших высотах порядка 10 км и дальности до 50 км в условиях, не зависящих от атмосферного состояния и времени суток.

Первая страница протокола совещания у академика А.Ф.Иоффе от 16 января 1934 г.

находится музей Физтеха, состоялось совещание, посвященное средствам противовоздушной обороны [11, с.71].

Через четыре года успешной работы на посту директора ЛЭФИ, в 1935 г., Чернышёв был переведен на должность второго заместителя директора, и вскоре принял непростое решение об уходе. Александр Алексеевич не мог согласиться с реорганизацией института — ЛЭФИ, подведомственный ВСНХ, передали Главному управлению электрослаботочной промышленности Наркомата авиационной промышленности, что повлекло за собой изменение тематики работ и фактически ликвидацию института. Часть сотрудников ЛЭФИ ушли в Физтех, в частности Маслаковец, Рожанский, Кобзарев и др. Папалекси перешел в Центральную радиолабораторию [2, с.55].

В 1936 г. Чернышёв возглавил лабораторию газового разряда Энергетического института АН СССР в Москве. Основными научными сотрудниками института в то время были ученые-энергетики, участвовавшие, как и он, в разработке плана ГОЭЛРО — М.А.Шателен, И.Г.Александров, К.А.Круг, Л.К.Рамзин; через два года к ним присоединился Н.Д.Папалекси. В конце 1930-х годов Чернышёв предложил не имеющие мировых аналогов технические решения для создания единой высоковольтной сети в стране.

В конце 30-х годов Чернышёв возглавлял Институт усовершенствования инженеров по энергетике, автоматике и связи при ВНИТОЭ, был председателем Комиссии постоянного тока АН СССР (1938–1940). До самой кончины оставался на физико-механическом факультете Политехнического института профессором кафедры техники высокого напряжения.

Александр Алексеевич Чернышёв скончался 18 апреля 1940 г. в возрасте 57 лет, через 16 дней после смерти жены Ядвиги Ричардовны Шмидт. Объявление о его кончине было напечатано в газетах «Правда» и «Известия». Похоронены супруги рядом — на Богословском кладбище в Петербурге.

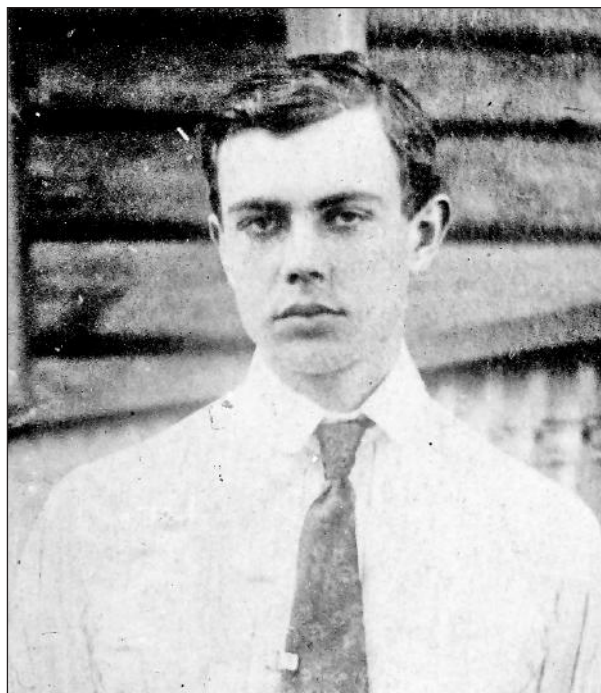
Сегодня, в XXI в., хочется напомнить часто цитируемые слова из статьи Чернышёва «Об импорте идей и о мелочной опеке», напечатанной в газете «Известия» весной 1936 г.: *Мы часто недооцениваем своих собственных идей и излишне преклоняемся перед заграницей... Надо более внимательно присматриваться к тому, что делается в наших собственных институтах, и уметь вовремя поддержать ценные предложения, не дожидаясь, пока они будут разработаны за границей и затем импортированы к нам* [1, 12].

Активная творческая жизнь Александра Алексеевича Чернышёва под крышей Физтеха продолжалась 13 лет (на этот период его работы из 41 патента и авторских свидетельств приходится 39). Научная и организаторская деятельность второго героя нашего повествования — советского физика, члена-корреспондента АН СССР Павла Павловича Кобеко — практически полностью связана с Физтехом, где он проработал 30 лет почти с самого основания института. Его портрет хранится в Музее ФТИ.

### П.П.Кобеко — «блокадный директор»

Павел Павлович Кобеко происходил из родовитой дворянской семьи. Его дед по линии отца, тайный советник Фома Фомич Кобеко, служил советником правления Государственного заемного банка в Петербурге. Дядя — Дмитрий Фомич, экономист, член-корреспондент Российской академии наук, известный пушкинист, был казначеем Литфонда, директором Публичной библиотеки. Отец Павла Павловича — Павел Фомич, выпускник Александровского лицея, в те годы статский советник, служил нотариусом в г. Вильно (в настоящее время г. Вильнюс, Литва).

Павел родился в 1897 г. и стал четвертым ребенком в семье. До 10 лет он обучался дома в поместье Кудричи (ныне Пинский р-н Белоруссии), затем поступил в мужскую гимназию в Вильно. В связи с Первой мировой войной семья эвакуировалась, и Павел закончил в 1917 г. Мстиславльскую гимназию [13, с.290].



Студент Сельскохозяйственного института Павел Кобеко, после 1921 г. (это самая «молодая» фотография П.П. Кобеко из архива ФТИ).

Он сразу был призван в армию, став фейерверкером в 6-м артиллерийском дивизионе в Невеле, в запасном дивизионном полку. Фейерверкеры, равные по званию унтер-офицерам в других родах войск, командовали орудийным расчетом и могли возглавлять артиллерийский взвод. Сознание долга и самоотверженность, воспитанные в армии, сослужили добрую службу Павлу Павловичу в период его «блокадного директорства» в 1941–1944 гг.

Вскоре из-за болезни (туберкулеза в открытой форме) Кобеко был демобилизован. Тяга к знаниям, особенно к физике и химии, привела его на физико-математический факультет Московского университета. Однако проучился он недолго — революция создала для семьи Кобеко большие трудности. Павел стал кормильцем большой семьи, устроился на работу в уездный комитет народного образования в Мстиславле. Кроме того, он преподавал немецкий и французский языки в школе, которую в период активного «уплотнения» жилья власти устроили прямо в просторном доме семьи Кобеко. Павел мечтал о дальнейшей учебе и в 1921 г. стал студентом сельскохозяйственного института в г. Горки Смоленского округа, расположенного в 60 км от дома в Кудричах. В институте он с увлечением и весьма успешно занялся агрономией и химией.

В 1924 г. Павел Кобеко получил специальность агронома и уехал в Ленинград, где поступил слушателем на вспомогательные работы в физико-химический отдел только что организованной



ЦФТЛ (как упоминалось выше, директором ЦФТЛ был Иоффе, его заместителем — Чернышёв). Вскоре его подключили к исследованиям полимеризации масел при их высыхании, электрических свойств полимеров, электропроводности стекол. Иоффе обратил внимание на талантливого сотрудника и пригласил его на работу в свою лабораторию в Физтех. Здесь Кобеко начал изучать свойства органических и неорганических изоляционных материалов, результаты этих исследований стали значительным вкладом в физику диэлектриков. В самом начале систематического исследования полупроводников в нашей стране он совместно с И.В.Курчатовым и К.Д.Синельниковым исследовал эффект выпрямления тока в сернистых соединениях.

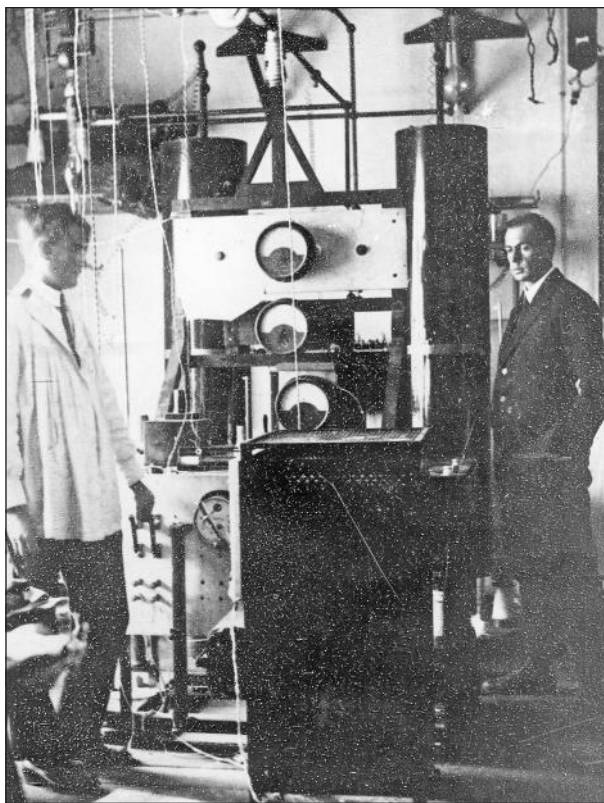
Уже с 1925 г. Павел Павлович принимал участие в организации исследовательских лабораторий на заводах электроизоляционной промышленности, в частности на заводе «Севкабель».

В 1930 г. Кобеко совместно с Курчатовым начал исследования диэлектрических свойств сегнетовой соли. Эти работы по сегнетоэлектричеству получили всемирную известность, и в 1933 г. Павел Павлович был награжден премией Наркомата тяжелой промышленности, в ведении которого находился тогда Физико-технический институт.

С 1932 г. Кобеко занимался физикой и химией аморфных веществ, в том числе высокомолекулярных соединений, и кинетикой процессов полимеризации. Его исследования привели к возникновению нового направления в физике твердого тела — физики релаксационных процессов. После защиты в 1935 г. докторской диссертации на тему «Аморфное состояние вещества» Кобеко стал одним из первых докторов наук в Физико-техническом институте.

В 1930 г. Павел Павлович начал читать лекции и через пять лет получил звание профессора Политехнического института, с 1944 г. заведовал кафедрой физики диэлектриков. Ю.И.Коптев вспоминает о послевоенных лекциях Кобеко следующее: *Скорее, это были не лекции, а непринужденные беседы. Обычно он приносил на занятия в карманах массу образцов и технических изделий, работающих во многих новейших устройствах, что позволяло нам, молодым, понимать всю важность и перспективность этой группы материалов. Благодаря его манере говорить непринужденно и просто, все, о чем он рассказывал, как говорится, «доходило до ума и западало в душу»* [14, с.13].

В июне 1941 г. Кобеко был выдвинут на звание члена-корреспондента АН СССР. Но началась Великая Отечественная война, его избрание было отложено и состоялось только 29 сентября 1943 г. Павел Павлович не эвакуировался с Физико-техническим институтом. Добровольно оставшись в блокадном Ленинграде, он принял на себя обязанности научного руководителя, а с июня 1942 г. по 1944 г. — директора Ленинградского филиала ФТИ. В Ле-



П.П.Кобеко (справа) и И.В.Курчатов в лаборатории Физтеха, 1928 г.



П.П.Кобеко и Н.В.Волковская у стены здания ФТИ с амбразурой, 1942 г.





В.А.Иоффе и П.П.Кобеко. Кронштадт, 1942 г.

нинграде в начале блокады оставалось 103 физтеховеца, уже к февралю в институте работали всего 26 человек, из них — 16 научных сотрудников (часть людей за осень и зиму эвакуировали, некоторые перешли в другие учреждения). В суровых условиях «блокадный директор» сумел наладить работу маленького коллектива филиала по выполнению задач военного времени, привлек к работе несколько крупных ученых из других институтов,

добился демобилизации ряда специалистов. Он вошел в состав специальной Технической комиссии по реализации оборонных изобретений. По заданию Военного совета Ленинградского фронта физтеховцы работали на прокладке Ладужской ледовой трассы, с января 1943 г. — под Шлиссельбургом на военных ледовых переправах, а в 1944–1945 гг. — на военно-морских переправах под Таллином. Физтеховская научная группа под руководством Кобеко, организованная при «ледовой службе» Ленинграда, провела исследования статических и динамических нагрузок на лед. В результате сотрудником Н.М.Рейновым был создан прибор для регистрации колебаний льда и исследования деформации ледового покрова — прогибограф [15, с.39]. Софья Владимировна Кобеко, жена Павла Павловича, предложила конструкцию незамерзающих прорубей для непрерывной работы прогибографов.

Знание химии и агротехники очень пригодилось «блокадному директору». Он изобрел способ очистки олифы и краски на растительном масле (в подвале института были обнаружены 28 ведер олифы и краска, не использованные для ремонта\*) и этим спасал своих сотрудников от голодной смерти. Двадцать грамм «эликсира жизни» — растительного масла, полученного после очистки, — давали особенно истощенным. Под руководством Кобеко была создана установка для очистки красок, которые привозили в Физтех из других институтов. Павел Павлович писал в письме товарищу:

\* Архив семьи Степановых, сотрудников ФТИ в трех поколениях (А.М.Степанов, комендант здания, затем заведующий техническим хозяйством ФТИ (1922–1956), его сын В.А.Степанов, заведующий лабораторией, и внук С.В.Степанов, ведущий инженер).



Группа ученых и военных при проведении исследований колебаний льда прогибографом (справа с прибором стоит П.П.Кобеко). 2-е Суздальское озеро, Озерки, февраль 1942 г.

«Приятно смотреть, когда после нескольких порций такого рациона люди оживали на глазах» [16, с.10]. Он добился перевода лабораторий ЛФТИ в статус мастерских (их было девять), в результате сотрудники стали получать 250 г хлеба — как рабочие, а не 125 г, как служащие и иждивенцы. Из 103 сотрудников филиала ФТИ, оставшихся в осажденном городе, от голода умер один человек. А.П.Александров так писал о «блокадном директоре»: *Павел Павлович был для всех остальных как огонь, от которого замерзшие люди впитывают тепло. Он думал только, как спасти людей, спасти других ленинградцев и отстоять город от врага. Делил с товарищами все лишения, не позволяя себе ни малейшей привилегии: все всем поровну — и тяжелый труд, и блокадная пища. Он был человеком дела и ученым каждой клеточкой своего мозга...* [17, с.145]. Весной 1942-го Александров, посетив Ленинград проездом на Северный флот и встретившись с сотрудниками института, нашел П.П.Кобеко и других истощенными, «иставшими», но сохранившими ясность мысли и твердость духа [16, с.10].

Кобеко предложил использовать для изоляторов зенитных батарей взамен диэлектрика английского производства эскапон — высокочастотный электроизоляционный материал, разработкой которого он занимался до войны. Изготавливать сложное изделие было поручено заводу «Севкабель». Кобеко и Рейнов налаживали производство на заводе. Рейнов позже вспоминал: *Сколько людей, буквально стоявших на краю могилы, было спасено и здравствуют по сей день благодаря хлопотам Павла Павловича Кобеко!.. Мы все в Физтехе были тогда буквально влюблены в Павла Павловича. Он заботился о каждом... Случалось, отдавал часть своего пайка сотруднику, чье положение становилось угрожающим, умел добыть добавки к скудному пайку, неизменно заботился, чтобы наиболее ослабевших поместить в отдельный стационар при ЛПИ. Ехал на велосипеде в другой конец города, чтобы узнать о судьбе не вышедшего на работу человека, вез его на санках в госпиталь. Сам*



П.П.Кобеко и Н.М.Рейнов на заводе «Севкабель» в блокадном Ленинграде, 1942 г.

*неоднократно попадал под артиллерийские обстрелы, несколько раз был контужен, один раз тяжело* [16, с.10].

В 1942 г. Павел Павлович Кобеко за оборонную работу был премирован Президиумом АН СССР, получил благодарность по ленинградским войскам ПВО за восстановление спецоборудования. За самоотверженный труд в блокадном Ленинграде Указом Президиума Верховного Совета СССР от 17 мая 1944 г. Кобеко был награжден орденом Ленина. Командование Краснознаменного Балтийского флота удостоило его ордена Отечественной войны 2-й степени за выполнение боевых заданий. Также он был награжден орденом Трудового Красного Зна-



П.П.Кобеко, Н.В.Волковская и Н.М.Рейнов на огороде ФТИ, 1942 г.





В саду Физтеха, первое лето после снятия блокады Ленинграда, 1944 г. Первый ряд (слева направо): С.И.Сковорода, П.П.Кобеко, В.А.Сташевич; второй ряд (слева направо): А.М.Степанов, Н.И.Шижкин, Ф.И.Милагин, Н.М.Рейнов, В.А.Лалинский, А.З.Левинзон.

мени, медалями «За оборону Ленинграда», «За победу над Германией в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.» и «За доблестный труд в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.». Павел Павлович особенно гордился медалью «За оборону Ленинграда».

В послевоенные годы Кобеко был заведующим отделом полимеров ЛФТИ, с 1947 г. — заместителем директора по научной работе. В декабре 1950 г. под давлением обстоятельств А.Ф.Иоффе перешел на должность заведующего лабораторией, а директором Физтеха назначили А.П.Комара. Обстановка в институте изменилась. В марте 1952 г., после печально знаменитого ученого совета ЛФТИ [15, с.90], когда Абрам Федорович Иоффе после 32 лет директорства в ФТИ вынужден был покинуть родной институт, Павел Павлович Кобеко вместе с сотрудниками своей лаборатории перешел в Институт высокомолекулярных соединений АН СССР.

Вскоре Павла Павловича настигло большое горе — его жена Софья Владимировна тяжело заболела

и скончалась от белокровия. Тягостная политическая обстановка в стране в начале 50-х годов, связанная с борьбой с космополитизмом, вынужденный уход из родного Физтеха, смерть жены — все это подорвало не только физическое здоровье Кобеко, уже ослабленное блокадой, но и душевное равновесие. Павла Павловича не стало 6 января 1954 г. Он принял непростое решение уйти из жизни. В его бумагах нашли прощальное письмо без даты:

*Моим соратникам по научной работе!*

*Дорогие друзья и товарищи по работе!*

*Я оставляю вас с ясной уверенностью в том, что все вы находитесь в полном расцвете творческой силы и научной зрелости. Старая нянька вам больше не нужна. Она даже, может, в какой-то мере стесняла вашу самостоятельность. Не ссорьтесь и, как раньше, дружно решайте поставленные перед вами научные задачи.*

*Не поминайте меня лихом, покойный был неплохой человек и всегда искренно любил вас. Пишу это на всякий случай в связи с участившимися сердечными припадками.*

*Ave amici! Moriturus vos solutat!*

*(Славьтесь, друзья! Идущий на смерть приветствует вас!) [14, с.31–32].*

«Блокадный директор» Физтеха, Павел Павлович Кобеко, навсегда оставил память о своей любви к Родине, к людям, о своей преданности науке.

\* \* \*

В заключение нельзя не сказать, что профессора Чернышёв и Кобеко, люди высочайшего профессионализма, были соратниками и надежными спутниками Абрама Федоровича Иоффе в период его директорства. Опора на таких людей во многом предопределила успех создания ленинградского Физтеха и системы физических институтов в стране. ■

## Литература / Reference

1. Киселев А. «Русского Эдисона» звали Александр Алексеевич Чернышев. Электроника: НТБ. 1999; 2. [www.electronics.ru/journal/article/1669](http://www.electronics.ru/journal/article/1669). [Kiselev A. «Russian Edison» Was the Name of Alexander Chernyshev. Electronics: STB. 1999; 2. (In Russ.)]
2. Рогинский В.Ю., Чернышева М.А. Александр Алексеевич Чернышев. 1882–1940. М., 1998. [Roginsky V.Yu., Chernysheva M.A. Alexander Alekseevich Chernyshev. 1882–1940. M., 1998. (In Russ.)]
3. Соминский М.С. Абрам Федорович Иоффе. М.; Л., 1965. [Sominisky M.S. Abram Fedorovich Ioffe. M.; L., 1965. (In Russ.)]
4. Дьяков Б.В. История и методология технической физики: Уч. пособие для вузов. СПб., 2013. [Diakov B.V. History and Methodology of Technical Physics: Textbook for Higher Educational Establishments. SPb., 2013. (In Russ.)]



5. Научно-организационная деятельность академика А.Ф.Иоффе. Л., 1980. [Scientific and Organizational Activity of Academician A.F.Ioffe. L., 1980. (In Russ.)]
6. *Иоффе А.Ф.* Моя жизнь и работа: Автобиографический очерк. Л.; М., 1933. [*Ioffe A.F.* My Life and Work: an Autobiographical Essay. M.; L., 1933. (In Russ.)]
7. *Девяткова Е.Д.* // Воспоминания об А.Ф.Иоффе. Л., 1972: 70–85. [*Devyatkova E.D.* Memories of A.F.Ioffe. L., 1972: 70–85. (In Russ.)]
8. *Иоффе А.Ф.* Памяти А.А.Чернышева. Физика: проблемы, история, люди: Сборник научных трудов. Отв. ред. В.М.Тучкевич. Л., 1986: 170–172. [*Ioffe A.F.* Memory A.A.Chernyshev. Physics: Problems, History, People: Collection of scientific works. V.M.Tuchkevich (ed.). L., 1986: 170–172. (In Russ.)]
9. Дубинина Н.М. Вклад Ленинградского ВНИИТ в создание передающих телевизионных трубок и становление электронного телевидения. *Электросвязь*. 1999; 5: 39–43. [*Dubinina N.M.* Contribution of Leningrad All-Union Scientific Research Institute for Television to the creation of transmitting television tubes and the formation of electronic television. *Elektrosvyaz*. 1999; 5: 39–43. (In Russ.)]
10. *Урвалов В.А.* Твой сын, Петербург: Александр Павлович Константинов. СПб., 1997. [*Urvalov V.A.* Your son, Petersburg. Alexander Pavlovich Konstantinov. SPb., 1997. (In Russ.)]
11. *Ощепков П.К.* Жизнь и мечта. М., 1967. [*Oshchepkov P.K.* Life and Dream. M., 1967. (In Russ.)]
12. *Балыко А.К.* К 100-летию выдающегося ученого современности академика Николая Дмитриевича Девяткова. *Биомедицинские технологии и радиоэлектроника*. 2007; 2–4: 5–19. [*Balyko A.K.* To the 100th Anniversary of the outstanding scientist of our time academician Nikolai Dmitrievich Devyatkov. *Biomedical technologies and Radioelectronics*. 2007; 2–4: 5–19. (In Russ.)]
13. *Кобеко П.П.* Автобиография. Физики о себе. Л., 1990: 290–291. [*Kobeko P.P.* Autobiography. Physicists about Itself. L., 1990: 290–291. (In Russ.)]
14. *Коптев Ю.И.* П.П.Кобеко. СПб., 2007. [*Koptev Yu I.* P.P.Kobeko. SPb., 2007. (In Russ.)]
15. Трудный путь к Победе. Физтеховцы о днях войны. СПб., 2012. [Hard way to Win. Physical-Technical Institute during the War. SPb., 2012. (In Russ.)]
16. П.Кобеко — блокадный директор Физтеха. Петербург-классика. 2004; 2: 8–10. [P.Kobeko — Siege Director of the Institute. Petersburg-Classic. 2004; 2: 8–10. (In Russ.)]
17. *Александров А.П.* Воспоминания о Павле Павловиче Кобеко. Физика: проблемы, история, люди: Сборник научных трудов. Отв. ред. В.М.Тучкевич. Л., 1986: 144–147. [*Alexandrov A.P.* Memories of Pavel Pavlovich Kobeko. Physics: Problems, History, People: Collection of Scientific Works. V.M.Tuchkevich (ed.). L., 1986: 144–147. (In Russ.)]

## Two Portraits: A.A.Chernyshev and P.P.Kobeko

R.F.Vitman<sup>1</sup>, E.V.Kunitsyna<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Ioffe Physical-Technical Institute, RAS (Saint Petersburg, Russia)*

A.A.Chernyshev and P.P.Kobeko played a huge role in organization, development and survival of Physical-Technical Institute (PTI) in different years. In 1918 Chernyshev at the request of A.F.Ioffe assumed responsibility for creation the technical base of the Physical-Technical Department of the State Institute for Roentgenology and Radiology, later he headed the Technical Department of PTI. Kobeko, the «Siege Director», kept the Institute and the employees non-evacuated to Kazan working in the besieged Leningrad. Alexandr Alekseyevich Chernyshev (1882–1940) was an outstanding scientist/practitioner, academician of the USSR Academy of Sciences (1932), Deputy Director of PTI (1921–1931), Director of the Leningrad Electrophysical Institute (1931–1935). From 1908 he worked at the Leningrad Polytechnic Institute (since 1919 — professor). Expert in radio engineering, electrical engineering, automation and telematics, one of the pioneers in developing the Russian television systems. A major inventor with about 50 patented inventions. He participated in developing the GOELRO plan for the electrification of Russia. Laureate of the Lenin prize (1930). Pavel Pavlovich Kobeko (1897–1954) was a physicist and physico-chemist, correspondent's member of USSR Academy of Sciences (1943). He worked at the Leningrad PTI (1924–1952), Director of the Leningrad PTI branch during the siege of Leningrad; in 1952 transferred to the Institute of High Molecular Compounds of the USSR Academy of Sciences. Since 1930 he taught at the Leningrad Polytechnic Institute (from 1935 — professor). Expert in the field of physics of dielectrics, ferroelectricity, physics and physical chemistry of amorphous solids.

**Keywords:** Physical-Technical Institute, A.A.Chernyshev, P.P.Kobeko, the history of science.

# Хронология века Физтеха в документах из Архива ФТИ имени А.Ф.Иоффе. Начало

кандидат физико-математических наук Б.Б.Дьяков<sup>1</sup>, кандидат философских наук Д.Н.Савельева<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Физико-технический институт имени А.Ф.Иоффе РАН (Санкт-Петербург, Россия)

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский филиал Института истории естествознания и техники имени С.И.Вавилова РАН (Санкт-Петербург, Россия)

e-mail: boris.dyakov@mail.ioffe.ru

Начальный период существования Физико-технического института имени А.Ф.Иоффе интереснее всего проследить по сохранившимся свидетельствам эпохи — материалам его архива. С их помощью можно попытаться объективно представить происходившие события, которые не всегда находят верное отражение в литературе.

**Ключевые слова:** Физико-технический институт, архивы, Иоффе, Немёнов, документ, Наркомат.

Образование Физико-технического института (ФТИ), ныне всемирно известного Физтеха, произошло спустя год после революционных событий февраля—октября 1917 г. Это было непростое для страны и отечественной науки время, когда место нормальной жизни заняли голод, разруха, бандитизм, когда в начале 1918 г. все правительственные учреждения переехали в Москву и Петроград перестал быть столицей страны. С той поры история института отсчитала целый век, и юбилей дает нам повод обратиться к самому ее началу, для чего прибегнем к помощи сохранных свидетельств эпохи — документов из Архива ФТИ.

## Что такое Архив ФТИ

Документальные материалы института представляют огромную историческую ценность для истории отечественной науки. К сожалению, документы начального периода истории ФТИ сохранились в небольшом количестве. Некоторые из них (отчеты, протоколы заседаний ученого совета и др.) за 1918–1924 гг. удалось обнаружить в фондах вышестоящих организаций: Главнауки Наркомпроса РСФСР, Петроградского отделения Главнауки и др. Все они были сфотографированы и теперь являются неотъемлемой частью фонда, поскольку в самом институте оригиналов документов за указанный период не осталось. Несколько лучше положение с составом документов архивного фонда за последующие годы (1925–1931), хотя и здесь материалы сохранились не полностью.

Дело в том, что Архив ФТИ ждало испытание во время блокады Ленинграда, о последствиях ко-

торой свидетельствует «Докладная записка» от 24 апреля 1947 г. в дирекцию Архива Академии наук СССР о состоянии Архива ФТИ. В ней говорится: «...архивный фонд ФТИ накапливался с 1920-х годов и представлял собою до войны благоустроенное хранилище с соблюдением всех правил, которые предусмотрены законом. Во время Великой Отечественной войны воинская часть, занимавшая здание ФТИ, расхищала и уничтожала архивные документы. В результате вмешательства Архива Академии наук дирекция Института перевела архивные материалы в подвальное помещение, где они были свалены в груды. В процессе работы по восстановлению Архива [после войны] было выявлено большое количество ртути среди материалов, на земляном полу, на стеллажах, на необструганых досках. Выяснилось, что значительная часть архива... превратилась в макулатуру в виде разрозненных листков. Необходимо было спасти остатки архива ФТИ, найти новое помещение для хранения или капитально переоборудовать подвал, удалив ртуть, настлав полы, сделав стеллажи и т.д.»\*

Из этих строк видно, с какими трудностями сталкиваются историки, восстанавливая ход событий, особенно в то суровое, но и яркое время, когда начиналась советская наука. Ниже ход этих событий восстанавливается по материалам документов из Архива ФТИ. Документы приводятся с сохранением терминологии, стиля, правописания (исправлены только очевидные орфографические и синтаксические ошибки). Для полноты описания событий того или иного года используются и более поздние документы, если они существенно дополняют историческую картину.

**Документ №1**

Из отчета директора института А.Ф.Иоффе за пятилетку 1925/26 — 1929/30

**ИСТОРИЯ ИНСТИТУТА**

*Государственный Физико-Технический Институт учрежден был 24 сентября 1918 года, как часть Рентгенологического и Радиологического Института. В ноябре к нему присоединен был Оптический Отдел, который вскоре выделился в самостоятельный Оптический Институт. В 1921 году из него выделен был также Радиевый Отдел, образовавший Радиевый Институт.*

*Основная целевая установка Института с самого его основания — сделать физику базой социалистической промышленности, органически слив ее с техникой, как это и выражено в названии Института.*

*Главные этапы:*

*1. Создание мощного научного ядра из физиков и наиболее прогрессивных техников (1918–1923 гг.);*

*2. Создание и развертывание ВТУЗа для подготовки нового типа физиков, связанных с техническими проблемами — организация в 1919 году Физико-Механического Факультета при ленинградском Политехническом Институте;*

*3. Развертывание лабораторий прикладной физики на почве 1 и 2 пунктов — организация в 1924 году Государственной Физико-Технической Лаборатории ВСНХ;*

*4. Обследование и организация с 1925 года сети заводских лабораторий для передачи непосредственно в промышленность новых методов и приемов испытаний;*

*5. Организация крупных научно-исследовательских центров в других республиках и областях Союза: Институты в Харькове и Томске с 1928 года;*

*6. Создание новых исследовательских кадров из рабочих изобретателей и рационализаторов с 1930 г.;*

*7. Наряду с развитием деятельности Госуд[арственного] Физико-Технического Рентгенологического Института с самого его основания велась работа по привлечению всех физиков Союза с тем же целевым заданием. С этой целью в декабре 1918 г. Институт созвал конференцию в Москве и в январе 1919 г. съезд в Ленинграде, который и основал Всероссийскую ассоциацию физиков (а с 1930 г. и Всесоюзную).*

*Директор Института А.Ф.ИОФФЕ*

Архив ФТИ. Ф.1. Оп.1. Д.116. Л.3–10. Копия.

Далее идет изложение замысла А.Ф.Иоффе по превращению института в центральное научное ядро системы прикладных лабораторий, находящихся под эгидой ВСНХ СССР. В Ленинграде была образована Центральная (переименованная потом в Ленинградскую, затем в Государственную) физико-техническая лаборатория, организатором

и директором которой с 1924 г. был сам Иоффе. Он возглавил и лабораторию (позже переименованную в Государственный физико-технический институт — ГФТИ), и ГФТРИ Наркомпроса. Но, как пишет Иоффе в данном отчете, вследствие совершенно недостаточного финансирования «головного» ГФТРИ («25% необходимого минимума») доминирующая роль перешла к ГФТИ ВСНХ. Вскоре административный и обслуживающий персонал обоих институтов был объединен, а научный состав по совместительству работал и в том, и в другом институте (объединение ГФТРИ и ГФТИ произошло согласно постановлению ВСНХ от 10 мая 1931 г., подписанному главой ВСНХ Г.К.Орджоникидзе).

Не менее интересны последующие разделы документа с конкретными цифрами о финансовом положении института (Раздел II. Материальная база), о его научных достижениях (Раздел III. Важнейшие достижения за последние пять лет), о планах по развитию отечественной физики в масштабе всей страны (Раздел IV. Планирование научной работы в области физики). Но по отношению к рассматриваемому начальному периоду жизнедеятельности института они оказываются описанием его прекрасного будущего и здесь не приводятся.

**Документ №2**

Сопроводительное письмо к учредительным документам ГРПИ в Отдел ученых учреждений и высших учебных заведений Комиссариата просвещения

*...Вследствие телефонограммы Отдела ученых учреждений и высших учебных заведений за №479 Государственный Рентгенологический и Радиологический Институт препровождает при сем: 1) Положение об Институте, утвержденное Коллегией Народного Комиссариата по Просвещению, согласно отношению Отдела ученых учреждений от 31-го Июля 1919 г. за №2408; 2) Положение о Хозяйственных Комитетах, утвержденное согласно отношению Отдела ученых учреждений от 4 августа 1919 г. за №2445 и 3) Положение о Радиевой Ассоциации, принятое в заседании Объединенного Совета Института от 8-го Октября 1920 г.*

*К сему Институт присовокупляет, что он учрежден на основании постановления 38-го заседания Малой областной комиссии Народного Комиссариата по Просвещению от 23 октября 1918 г. и декрет об учреждении опубликован в газете «Северная Коммуна» от 6 мая 1919 г. за №98/291<sup>1</sup>.*

*Президент Института (подпись) М.Немёнов<sup>2</sup>  
25 Февраля 1921 г. №162.*

*Петроград. Лицейская 1<sup>3</sup>*

Архив ФТИ. Ф.1. Оп.1. Д.11. Л.1. Копия.

<sup>1</sup> Союз Коммун Северных областей в составе Петроградской, Архангельской, Вологодской, Новгородской, Олонецкой



и Псковской губерний был создан 29 апреля 1918 г. на I съезде Советов Северных губерний. 24 февраля 1919 г. на III съезде Советов Северных областей этот Союз был упразднен. Он противоречил конституции РСФСР, принятой V Всероссийским съездом Советов 10 июля 1918 г. Входившие в Союз губернии были подчинены непосредственно Москве. «Северная коммуна», ежедневная газета Союза коммунистов Северной области и Петросовета, издавалась Агентством печати Северной области со 2 июня 1918 г. по 11 мая 1919 г. утреним и вечерним выпусками.

<sup>2</sup> Президент института, т.е. директор, избирался руководителями («председателями») отделов на один год, и после истечения полномочий первого директора А.Ф.Иоффе им стал М.И.Неменов.

<sup>3</sup> Теперь ул.Рентгена, д.1, где помещался медико-биологический отдел института.

### Документ №3

Положение о Государственном рентгенологическом и радиологическом институте

...1. Государственный Рентгенологический и Радиологический Институт имеет своей задачей: а) научное исследование радиоактивности и всех видов лучистой энергии и их практических применений в медицине и технике, б) распространение и углубление сведений о радиоактивной и лучистой энергии среди специалистов и широких масс путем организации лекций, курсов, устройства музея, издания журнала, книг и брошюр и т.п.; в) усовершенствование, испытание и производство физико-технических приборов.

2. Институт состоит из четырех отделов: а) Физико-технического, б) Медико-биологического, в) Оптического, г) Радиоактивного.

3. Институт имеет право приглашать в свой состав сотрудников, как российских граждан, так и иностранцев, основывать свои отделения, опытные станции, заводы, лаборатории, музеи, библиотеки и ученые общества, созывать съезды, создавать комиссии, устраивать публичные собрания, лекции и диспуты, печатать научные труды, снаряжать экспедиции и принимать все нужные для успешной деятельности мероприятия.

4. Институт пользуется правами юридического лица.

5. Институт имеет право беспопытно получать из-за границы все необходимые для его деятельности предметы.

6. Институт состоит в ведении Комиссариата по Просвещению, коему представляет ежегодно а) отчет о своей деятельности и б) подробные сметные предложения для дальнейшего направления их в установленном порядке.

7. Институт имеет печать со своим наименованием.

8. На основании настоящего положения Институт составляет свой устав.

9. Отделы Государственного Рентгенологического и Радиологического Института состоят из а) руководителей работ, б) действительных членов, в) научных сотрудников и г) допущенных к научным работам (практикантов).

10. Отделами могут быть учреждаемы лаборатории и другие установленные для научных работ и исследований [подразделения], которые могут быть объединены в особую Ассоциацию с другими учено-учебными учреждениями Республики.

11. Условия допущения посторонних лиц к научным работам в учреждениях Отдела устанавливаются Советом Отдела.

12. Входящие в состав Отдела руководители работ и научные сотрудники избираются Советом Отдела, сроком на пять лет, по конкурсу, из числа лиц, известных своими научными трудами или иными работами по своей специальности, и утверждаются Объединенным Советом Института.

13. По истечении пятилетнего срока входящие в состав Отдела лица могут быть снова избираемы на следующее пятилетие без конкурса.

14. Входящие в состав Отдела, а равно допущенные к научным работам лица представляют Совету Отдела отчет о своей деятельности в устанавливаемые Советом Отдела сроки. В случае непредставления отчета или признания Советом представленного отчета неудовлетворительным Совет имеет право устранить такое лицо из состава Отдела.

15. Управление и руководство деятельностью Отдела осуществляется Советом Отдела.

16. Совет Отдела состоит из а) руководителей работ, б) действительных членов Института, в) научных сотрудников, г) заведующих учреждениями Отдела, д) представителей учреждений, вошедших в ассоциацию с отделом, а также и иных лиц, известной своей деятельностью по специальности Отдела и избранных Советом Отдела на пятилетний срок.

17. Допущенные к научным работам пользуются в Совете правом совещательного голоса.

18. Совет Отдела избирает на три года Президиум и его Председателя из числа лиц, входящих в состав Отдела. Президиум является ответственным исполнительным органом Совета. Права и обязанности Президиума и число членов его устанавливаются Советом Отдела<sup>1</sup>. <...>

42. Общее управление и руководство деятельностью Института осуществляется Объединенным Советом Института.

43. Объединенный Совет Института образуется из Общего Собрания членов обоих Отделов.

Примечание. В случае, если таковой состав Совета будет признан неосуществимым, он образуется из представителей Советов Отделов в числе, установленном уставом Института.

44. Объединенный Совет Института избирает из своей среды Президиум, сроком на три года, в числе, определяемом Советом. Председатели Советов Отделов состоят членами Президиума Объединенного Совета.

45. Члены Президиума распределяют между собой занятия и председательствование в Хозяйственном Комитете, согласно инструкции, утвержденной Советом.

46. Президиум исполняет постановления Совета, ведет всю текущую работу, заведует всеми внешними сношениями Института, подготавливает доклады к делам, вносимым на рассмотрение Объединенного Совета.

47. К ведению Объединенного Совета относятся: а) избрание Президиума, б) рассмотрение и утверждение годового отчета; в) рассмотрение вопросов, предложенных на разрешение Советами Отделов и Хозяйственным Комитетом; г) решение вопросов о приобретении в пользование зданий, помещений, земельных участков и о принятых Институтом на себя разного рода обязательств; д) рассмотрение и утверждение сметных предположений, составленных Хозяйственным Комитетом совместно с Президиумом; е) рассмотрение и утверждение представлений Отделов об изменении штатов; ж) делегирование от имени Института его членов на научные съезды, конгрессы и собрания; з) утверждение порядка распределения ученых и учено-учебных пособий между Отделами, а также порядка пользования ими.

48. Объединенный Совет Института открывается Президентом Института и созывается по постановлению Президиума или письменному заявлению одной десятой общего числа членов Объединенного Совета.

49. Заседания Объединенного Совета Института происходят по мере надобности.

50. В собрании Объединенного Совета председательствует Президент или один из членов Президиума.

Президент Института  
(подпись) А.Ф.Иоффе

Положение о Государственном рентгенологическом и радиологическом институте утверждено коллегией Наркомпроса 31 июля 1919 г.

(Подпись) М.И.Кристи

Архив ФТИ. Ф.1. Оп.1. Д.3. Л.1–6. Фотокопия.

<sup>1</sup> Далее пункты 19–41 относятся к регламентации деятельности Отделов института.

#### Документ №4

Постановление научной секции Наркомпроса об учреждении Государственного рентгенологического и радиологического института

...1. Для научного исследования вопросов рентгенологии и радиоактивности и их практических применений в медицине и технике учрежда-

ется в Петрограде государственное высшее учено-учебное установление под наименованием Государственный рентгенологический и радиологический институт.

2. Устройство и содержание Государственного рентгенологического и радиологического института обеспечивается средствами казны по сметам Народного комиссариата просвещения.

3. Организация и функционирование института определяется особым положением, утвержденным Народным комиссариатом просвещения.

Народный комиссар по просвещению  
(подпись) А.В.Луначарский

Заведующий учебными учреждениями  
и высшими учебными заведениями  
(подпись) М.П.Кристи<sup>1</sup>

<sup>1</sup> См.: «Организация науки в первые годы советской власти 1917–1925». Л., 1968. С.234.

#### Документ №5

Из отчета о деятельности государственного рентгенологического и радиологического института в 1919 г.<sup>1</sup>

##### ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТДЕЛ

Деятельность Физико-Технического Отдела и связанного с ним Радиового Отделения, согласно его основным задачам, распадается на ведение научных, физических и технических исследований в широкой области изучения и применения рентгеновых лучей и радиоактивности, с одной стороны, — и в чисто технической задаче по постановке и развитию рентготехнической промышленности — с другой. К этому в истекшем первом году — и, очевидно в ближайших еще следующих — присоединяется насущно необходимая обширная и при настоящих условиях весьма затруднительная работа по организации как научно-исследовательских лабораторий Отдела, так и мастерских и завода. Однако, несмотря на большое количество сил и времени, потраченных на эту последнюю руководящими лицами Отдела, а главным образом председателем его, А.Ф.ИОФФЕ, научно-исследовательская деятельность отдела ставилась ими на первом плане<sup>2</sup>. <...>

Следует упомянуть, что от Физико-технического Отдела произошла инициатива создания научного учреждения, посвященного разработке задач оптического спектра, первоначально в виде Оптического отдела. Организация этого отдела, за которую взялся тогда товарищ председателя Д.С.РОЖДЕСТВЕНСКИЙ, пошла настолько успешно и учреждение приняло настолько широкие размеры и самостоятельное значение, что скоро выделилось в самостоятельный Институт, — Государственный Оптический Институт<sup>3</sup>.

Физико-технический Отдел вошел в лице двоих представителей в состав Объединенного Совета высших ученых и учебных заведений<sup>4</sup>.

Здание Физико-технического Отдела было передано ему Красным Крестом по ходатайству Народного Комиссара по Просвещению и находится в Сосновке<sup>5</sup>.

Внутренние помещения были коренным образом перестроены и после переделки оказались очень удобными для размещения лабораторий Отдела. Строительные работы закончены во всех частях здания, кроме химической лаборатории. Водопроводные работы близки к окончанию. Приобретена установка для светильного газа, а в ближайшем будущем будет приступлено к соединению здания с Газовым заводом Политехнического института<sup>6</sup>.

К электрической проводке и газовой проводке внутри здания приступлено в настоящее время. <...> До окончания оборудования собственного здания экспериментальные работы Физико-технического Отдела ведутся в помещении физического и электротехнической лаборатории Политехнического Института, с которым Физико-технический отдел вступил для этой цели в ассоциацию, согласно которой часть лаборатории и в будущем будет помещаться в большой чертежной зале третьего этажа в непосредственной близости с высоковольтной лабораторией<sup>7</sup>. <...>

#### ФИНАНСОВЫЙ ОТЧЕТ<sup>8</sup>

Институтом представлены были подробно разработанные сметы на организацию и оборудование Института и на его содержание в конце 1918 г., на первую половину 1919 г. и затем в июне — на вторую половину 1919 года, но сметы не получили утверждения в то время, как приходилось вести работу по организации Института, финансовое положение его было не обеспечено и приходилось пользоваться лишь суммами, предоставляемыми на неопределенные сроки из средств ПЕТРОКОМПРОСА по его ассигновкам. Лишь впервые в сентябре 1919 г. открыт был кредит в непосредственное распоряжение Института, но не в полной сумме сметных предположений, а лишь в некоторой их доле. То же продолжается до сих пор.

При учреждении Института на первоначальные расходы был получен первый аванс по ассигновке КОМПРОСА 19 октября 1919 г.

Президент Института  
(подпись) М.Немёнов

Архив ФТИ. Ф. 1. Оп. 1. Д. 4. Л. 1–7. Фотокопия.

<sup>1</sup> Написан не позднее 22 апреля 1920 г., что устанавливается по штампу входящих бумаг адресата.

<sup>2</sup> Далее приводятся сведения о 34 (!) темах работ, проводимых отделом, и публикациях в издаваемом институтом журнале «Вестник рентгенологии и радиологии — Отдел Физико-технический» и в «Журнале русского физико-химического общества», а также об участии сотрудников в научных конференциях, в том числе в Съезде русских физиков в Петрограде 4–7 февраля 1919 г., где Иоффе выступил с докладами «О Рентгеноло-

гическом институте», «Строение атома по Бору» и сообщениями «О задачах съезда», «О центральных установках». См.: ЖРФХО. Физ. отд. Т.51. Вып.4–6. С.313–352.

<sup>3</sup> 2 ноября 1918 г. Иоффе обратился в Наркомпрос с предложением о создании в составе института еще и оптического отдела, который выделился из ГРПИ после рассмотрения на коллегии Наркомпроса 15 декабря 1918 г. Положение об этом институте было утверждено 26 апреля 1919 г. Выдающийся отечественный ученый академик Д.С.Рожественский был его директором в 1918–1932 гг.

<sup>4</sup> Совет высших учебных заведений и ученых заведений при Наркомпросе коммун Северной области создан в декабре 1918 г. под председательством академика А.П.Карпинского, президента Российской Академии наук (1917–1936). В него входили работники Наркомпроса, Совета Народного Хозяйства, Петросовета, директора учреждений. Институт представляли Немёнов и Иоффе.

<sup>5</sup> Это нынешнее главное здание института по адресу: Дорога в Сосновку, д.2. Современный адрес: Политехническая ул., д.26. Площадь, образовавшаяся в ходе строительства новых корпусов института между ними, вестибюлем станции метрополитена «Политехническая» и Главным зданием СПбГПУ (Политехнического института), сейчас носит название — Площадь Иоффе. Встречающийся в документах Яшумов переулок ныне называется улицей Курчатова.

<sup>6</sup> Газовый завод Политехнического института был построен в 1901 г. Сейчас в этом здании находятся его кафедры. Современный адрес — Политехническая ул., д.29Ж.

<sup>7</sup> Далее идет отчет о деятельности Радиевого отделения — будущего Радиевого института АН.

<sup>8</sup> Данный раздел документа приводится полностью, так как содержащиеся в нем сведения убедительно свидетельствуют, что институт существовал и финансировался с 1918 г., хотя учредительный документ (см. Документ №4) был опубликован в печати только в мае 1919 г., что в дальнейшем привело к разночтениям относительно года основания института.

#### Документ №6

Письмо А.Ф.Иоффе об установлении особой индивидуальной ставки ведущим специалистам — ученым ГРПИ от 21 мая 1920 г.

В Народный Комиссариат по Просвещению.  
21 мая 1920 г.

Физико-технический отдел института является Центральным Институтом, объединяющим научную работу в одной из областей знаний, которая определяет направление современного знания и открывает безграничные перспективы для будущего.

С другой стороны, Институт занял руководящую роль в важнейших отраслях промышленности: ему поручено руководство заводами рентгеновых и пустотных радиотелеграфных аппаратов по особому соглашению с секцией «Радиосвязь» ВСНХ (в которую входят бывшие заводы Эриксона, Сименса и Гальске, Гейслер, Радиорус).

Институту поручено исследование существующих изделий, их усовершенствование, указание и разработка новых путей в технике, конст-



руирование и изготовление образцовых экземпляров радиотелеграфных, электромедицинских и физических приборов и консультация по всем теоретическим и техническим вопросам.

Кроме того, Институт непосредственно руководит заводом по добыче радия из туркестанских руд.

Деятельность Отдела имеет всероссийский характер, а с установлением отношений с Западом должна принять международный характер. По оборудованию и объему научных работ Отдел превосходит все аналогичные учреждения Европы.

Однако, несмотря на столь благоприятные условия и искреннее стремление участников Института добиться поставленных целей, работа их дает далеко не такие быстрые и успешные результаты, как было бы желательно и вполне достижимо. Препятствием стало крайне тяжелое материальное положение в особенности семейств работников, к которым принадлежат как раз все наиболее опытные и глубокие научные деятели Института. Увеличить паек, обеспечить в значительной степени самого ученого не решает вопроса о его семье. Поэтому большая часть времени, энергии и внимания, столь ценных, единственных в России специалистов отвлекает заботами о пропитании семьи. При бедности России такими исключительно высоко квалифицированными специалистами, которых удалось собрать в своих стенах Институту, растрата их сил на поиски продовольствия является государственно нецелесообразной. С другой стороны, создание бодрой, энергичной и успешной работы в Институте, на которую обращают взоры научно-технические круги России, и которая так заинтересовала все иностранные делегации и Парижскую Академию Наук, имело бы громадное политическое значение.

Поэтому Институт ходатайствует об установлении для наиболее ответственных его руководителей, которых Институт, привлекая из всей России на эту деятельность, признал исключительно высоко квалифицированными специалистами-учеными, особой индивидуальной ставки в 30.000 руб. в месяц при условии работы в стенах института не менее 36 час. в неделю.

Профессор А.Ф.Иоффе, Заведующий Отделом, доктор философии Мюнхенского Университета, доктор физики Петроградского Университета, член-корреспондент, а теперь избран и действительным членом Российской Академии Наук<sup>2</sup>.

Профессор М.М.Глазголев, преподаватель Университета и Политехнического Института, обладающий рядом научных работ в русских и французских журналах.

Д.С.Коловрат-Червинский, единственный в России крупный ученый в области радиоактивности, опубликовавший до 20 научных работ<sup>3</sup>.

Профессор А.А.Чернышёв, крупнейший специалист в области радиотелеграфии и токов высокого напряжения.

Профессор А.А.Горев, выдающийся ученый и техник по воздушной передаче энергии и высоким напряжениям.

Д.В.Залуцкий, Один из немногих специалистов в области рентгенологии и магнитных свойств железа.

Профессор Г.В.Вульф — один из лучших не только в России, но и во всем мире кристаллографов-физиков.

Профессор П.И.Лукирский — физик, развивший широкую научную работу в области электронной теории и магнетизма.

Председатель Совета  
Физико-Технического Отдела А.Иоффе  
Архив ФТИ. Ф.1. Оп.1. Д.7. Л.4–5. Автограф.

<sup>1</sup> Перечисленные предприятия в документе приведены под своими широко распространенными наименованиями по имени их собственников или основателей. В советское время они стали флагманами отечественной индустрии и в таком качестве существуют и сейчас под новыми названиями.

<sup>2</sup> Избрание А.Ф.Иоффе состоялось 8 мая 1920 г.

<sup>3</sup> См. статью о нем: УФН. 1952. Т.47(5). С.115–120.

#### Документ №7

Письмо А.Ф.Иоффе в Наркомпрос о назначении персональных ставок ведущим сотрудникам Физико-технического Отдела Государственного Рентгенологического и Радиологического Института 21 мая 1920 г.

...При Рентгенологическом Институте учреждена Комиссия по исследованию строения молекул, которая должна с полным напряжением всех сил в возможно краткий срок разрешить задачу о структуре химических соединений. В особой разъяснительной записке выяснено было совершенно исключительное научное и политическое значение этой задачи. Удалось организовать группу ученых и тонких мастеров опыта, которые с увлечением принялись за дело, посвящая ему часто по 10, а иногда и по 12 ч[асов] в день. Есть надежда, что эта мировая задача может быть разрешена еще к концу настоящего года в Советской России в условиях научной блокады, что имело бы громадное значение и для Европы. Но такая напряженность работы требует сосредоточения всего внимания и всей энергии на данной работе, для чего необходимо освободить членов Комиссии от забот о продовольствии и от голодания членов семьи.

С этой целью Институт ходатайствует об установлении для членов Комиссии временно до окончания ее деятельности индивидуальной ставки в 30.000 руб., которая вполне оправдывается исключительно высокой квалификацией лиц, приглашенных в члены Комиссии. Комиссари-

ат Труда выразил уже принципиальное согласие на утверждение этих ставок.

Состав Комиссии:

1. Профессор А.Ф.Иоффе
2. Профессор А.А.Чернышёв
3. Профессор А.А.Горев
4. Л.В.Залуцкий
5. Профессор С.О.Максимович
6. П.Л.Капица
7. М.В.Кирпичёва
8. Н.Я.Селяков
9. Л.С.Термен
10. Е.Н.Горева
11. Я.Г.Усачёв
12. В.Н.Дыньков
13. Э.Я.Лаурман
14. Н.Н.Семёнов

Из них первые четыре представлены по Физико-Техническому Отделу в качестве руководителей. В случае удовлетворения первого ходатайства, Комиссия ходатайствует [о] распространении ставки в 30.000 р. на остальных 10 членов Комиссии.

Председатель (подпись) А.Иоффе<sup>1</sup>  
Архив ФТИ. Ф.1. Оп.1. Д.7. Л.6. Автограф.

<sup>1</sup> Решением Наркомпроса (протокол 26-го заседания Коллегии научного сектора от 22 октября 1929 г.) для А.Ф.Иоффе, А.А.Чернышёва, А.А.Горева и Л.В.Залуцкого была установлена ставка 50 тыс. руб., а для остальных членов комиссии — С.О.Максимовича, П.Л.Капицы, М.В.Кирпичёвой, Н.А.Селякова, Л.С.Термена, Е.Н.Горевой, Я.Г.Усачёва, В.Н.Дынькова, Э.Я.Лаурмана, Н.Н.Семёнова — по 30 тыс руб. в месяц.

#### Документ №8

Протокол заседания комиссии по реорганизации Государственного Рентгенологического и Радиологического института от 23 ноября 1921 г.

...На Заседании присутствовали: Заведующий Петроградским Управлением Научными Учреждениями Академического центра М.П.КРИСТИ, Заведующий Отделом Научных Учреждений ЛЕЩЕНКО, Эмиссар КАМЕНЬЩИКОВ и представители Института: от Медико-биологического Отдела — профессор НЕМЁНОВ, от Физико-Технического — академик ИОФФЕ, от Радиологического — академик ВЕРНАДСКИЙ и профессор МЫСОВСКИЙ...

На повестке дня общий вопрос о реорганизации Рентгенологического Института.

Открывая Заседание, М.П.КРИСТИ указывает, что ввиду того, что практикой выяснена чисто механическая связь отделений Рентгенологического Института при полной разобщенности научной и административно-хозяйственной деятельности, возникает вопрос о разделении отделов Медико-Биологического, Физико-Технического и Радиологического на самостоятельные учреждения для пользы научной и целесообразности хозяйственно-административной.

Академик ИОФФЕ принципиально высказывается за разделение административно-хозяйственной части Отделений Института с преобразованием их в самостоятельные учреждения, но высказывает опасение, что при этом разделе произойдет нежелательное отчуждение в научно-ученом отношении. Желательна Общая научно-ученая Коллегия.

Профессор НЕМЁНОВ указывает, что с самого начала он был за тесную научную спайку трех отделений Института, но фактически совместной работы почти не было, приходилось чуть не силой привлекать на совместные заседания. Объясняется это территориальным раздроблением отделений и неудобствами сообщения. Считая желательным и впредь Объединенный Научный Совет, НЕМЁНОВ сомневается в фактической осуществимости его заседаний. В хозяйственно-административном отношении должна быть безусловно полная самостоятельность отделений.

Тов. КАМЕНЬЩИКОВ высказывается за полное разделение; фактически за три года существования Института научное объединение достигнуто не было, нет основания ожидать его и впредь. Для научной координации достаточно по мере надобности взаимно прикомандировывать сотрудников и созывать отдельные совещания.

Академик ВЕРНАДСКИЙ присоединяется к мнению о сохранении общего Академического Совета при разделении Института на три внутренние самостоятельных учреждения. Но при разделении весьма важно сохранить связь Физического отдела с Радиевым заводом и рудниками В.С.Н.Х., одинаково важных и для Академии Наук, и для создаваемых теперь из Института новых учреждений.

После обмена мнений единогласно принимается постановление о разделении Государственного Рентгенологического и Радиологического Института на три совершенно самостоятельных Института.

Далее по вопросу о координации научной деятельности создаваемых институтов признано необходимым создание Объединенного Ученого Совета для разработки и направления общих научных вопросов, которые выносятся в Совет на обсуждение директорами Институтов или отдельными Советами их...

Председатель (подпись) М.Кристи  
Архив ФТИ. Ф.1. Оп.1. Д.8. Л.1-2. Подписанная копия.

#### Документ №9

Протокол второго заседания комиссии по реорганизации Государственного Рентгенологического и Радиологического института от 29 ноября 1921 г.

...Присутствовали: Заведующий Управлением Научными Учреждениями М.П.Кристи, Заведующий Отделом Научных Учреждений Д. ЛЕЩЕНКО, Секретарь Отдела ЗАБИНКОВ и Представители Инсти-

тута, Профессор НЕМЁНОВ, академик ИОФФЕ, академик ВЕРНАДСКИЙ и профессор МЫСОВСКИЙ...

*Порядок дня:*

Заслушивание Положения о новых Институтах...

2) Проект распределения зданий между ними, а также и другого имущества Института.

СЛУШАЛИ: Проект Положения об Институте, образуемом из бывшего Физико-Технического Отдела, предложенный академиком ИОФФЕ.

ПОСТАНОВИЛИ: Положение с поправками редакционного характера утвердить. Институту присвоить наименование: Физико-Технический Рентгенологический институт.

Архив ФТИ. Ф.1. Оп.1. Д.8. Л.3. Незаверенная копия.

### Документ №10

Положение [о] Государственном Физико-технологическом<sup>1</sup> Институте.

...Государственный Физико-Технический Рентгенологический Институт имеет своей задачей:

1) Научное исследование рентгеновых лучей, — электронных и магнитных явлений строения вещества.

2) Изучение и осуществление применений этих явлений к технике.

3) Производство и испытание физико-технических приборов.

4) Распространение научных сведений среди специалистов и широких масс.

Институт имеет право:

1) Основывать отделения, опытные станции, музеи, лаборатории, библиотеки.

2) Созывать комиссии, устраивать публичные лекции, печатать научные и просветительные сочинения.

3) Созывать съезды, снаряжать экспедиции, командировать своих членов как в различные места Республики, так и за границу, основывать заводы, получать из-за границы необходимые предметы — все согласно существующих узаконений и с разрешения подлежащих инстанций.

4) Принимать все меры, необходимые для его развития.

Институт состоит в ведении Народного Комиссариата по Просвещению, — пользуется правами юридического лица и имеет печать со своими наименованиями. Управление и руководство деятельностью Института осуществляется Советом.

В состав Совета входят:

а) руководители научных работ (старшие физики),

б) действительные члены,

в) ассистенты в составе не более 1/3 общего числа Членов Совета,

г) консультанты,

д) представители учреждений с совещательным голосом.

Совет избирает из своего состава сроком на 3 года Директора, его 2-х заместителей и ученого Секретаря, образующих Президиум Совета.

ПРИМЕЧАНИЕ: Директор, его Заместители руководители научных работ (старшие физики) утверждаются на общих основаниях ГУС'ом<sup>2</sup>.

Президиум является ответственным исполнительным органом Совета. По постановлению Совета состав Президиума может быть пополнен другими лицами из его среды...

Руководство хозяйственной и административной деятельностью Института осуществляется хозяйственным комитетом, действующим по указанию Совета.

Председателем хозяйственного комитета является Директор Института. Остальные его члены избираются Советом. Кроме того, в число членов Комитета входит 1 представитель от служащих Института, не состоящий членом Совета.

Здание с прилегающей к нему территорией по дороге в Сосновку д. 2 передается Институту.

Согласно постановления Научно-Технической Секции ГУС'а от 23-1-22 г. утверждается.

Зав. Главнаукой (подпись)

Архив ФТИ. Ф.1. Оп.1. Д.13. Л.2-3.

Заверенная копия с копии с датой 27 августа 1923 г.

<sup>1</sup> Так в заголовке документа.

<sup>2</sup> Государственный ученый совет (ГУС) — подразделение Наркомпроса РСФСР, учрежденное в 1919 г.

### Документ №11

Отчет Государственного Физико-технического Рентгенологического Института с 1 октября 1922 г. по 1 октября 1923 г.

...За отчетный период Институт вступил в новую фазу своего развития, переехал в собственное здание<sup>1</sup>. Открытие нового здания произошло 4 февраля 1923 года в присутствии Заведующего Петроградским отделом Академического центра М.И.Кристи и многочисленных представителей ученых и Высших учебных заведений. На торжественном акте Ученым секретарем Института, профессором В.Р.Бурсианом был прочтен отчет о развитии деятельности института со времени его основания, а Директором института, академиком А.Ф.Иоффе была произнесена речь на тему Наука и Техника. До открытия нового здания сотрудники Института работали в помещениях физической и электротехнической лабораторий I Петроградского Политехнического института. Ремонт и оборудование здания и приведение его в состояние, в котором можно было начать в нем научную работу, потребовало от администрации Института и его сотрудников большой работы, деятельную помощь Институт имел со стороны Заведующего Петроградским отделением Академического центра М.И.Кристи в виде предоставления средств и отпуска ме-



бели из складов Зимнего дворца, а также со стороны Главэлектро, которое по ходатайству Помощника директора Н.Н.Семёнова предоставило основное электротехническое оборудование. Закупки, произведенные для института академиком А.Ф.Иоффе за границей в 1921 и 1922 гг., дали возможность оборудовать Институт собственным научным инвентарем.

Переезд в новое здание дал возможность осуществить одну из главных задач Института, именно: образцовую постановку массового производства пустотных приборов (радиотелеграфных усилителей, генераторных ламп, усилителей и кенотронов, ремонт и изготовление рентгеновых трубок, изготовление фотоэлементов и сигнализационных охранных установок).

Ученый секретарь Института профессор (подпись) В. Бурсиан

Архив ФТИ. Ф.1. Оп.1. Д.17. Л.7. Подписанная копия.

<sup>1</sup> См. предыдущий документ.

#### Документ №12

Из постановления коллегии НТО ВСНХ об объединении работ ГФТРИ с подотделом физических испытаний бывшего Государственного научно-технического института от 23 февраля 1924 г.

*Признать необходимым объединение работ, ведущихся в ГФТРИ на средства НТО, с работами подотдела под единым и общим руководством акад. А.Ф.Иоффе<sup>1</sup>.*

<sup>1</sup> См.: Организация науки в первые годы советской власти 1917–1925. Л., 1968. С.250–251.

#### Документ №13

Из Отчета института с 1 октября 1923 г. по 1 октября 1924 г.

*...Истекающий отчетный период можно считать первым со времени основания Института, в течение которого организационные работы, хотя и непрерывно продолжающиеся, уже не стояли на первом плане, и работа Института могла происходить при нормальных условиях. <...> Печатные работы и доклады на съездах свидетельствуют*

*о том, что работа эта была в достаточной мере плодотворна. Непрерывно расширяется интерес, проявленный промышленностью Республики к научно-технической деятельности Института...*

Ученый Секретарь Института Профессор (подписано) В.БУРСИАИАН

Архив ФТИ. Ф.1. Оп.1. Д.23. Л.4–5.

Подписанная (с печатью) копия.

#### Что было потом

Первые годы существования института были определяющими, поскольку они определили не только «бытие», но и традиции, сохраняемые до настоящего времени последующими поколениями физтеховцев. Следующим важнейшим хронологическим рубежом для института стал 1932 г. С этого года он перешел в систему Наркомтяжпрома (после реорганизации ВСНХ) и его тематика и организация работы коренным образом изменилась. Были выделены отдел полупроводников, который возглавил сам А.Ф.Иоффе, и отдел ядерной физики, фактическим руководителем которого стал И.В.Курчатов (до этого последний занимался в основном сегнетоэлектриками, в институте появился в 1925 г., будучи зачислен сначала в штат физико-технической лаборатории). В том же году началось обсуждение вопроса о переходе института в систему Академии наук СССР, оно оставалось безрезультатным до 1939 г., когда был реорганизован Наркомтяжпром, а Физтех передал в систему новообразованного и менее масштабного Наркомата среднего машиностроения. После непростых дискуссий в 1939 г. комиссия Академии наук во главе с академиком С.И.Вавиловым, рассматривавшая вопрос о передаче Ленинградского ФТИ, одобрила предложение его дирекции о переходе института в систему АН. Долгое время документы комиссии, включая протокол обсуждения этого решения на общем собрании сотрудников института и другие материалы, не могли быть включены в научный оборот, поскольку их не находили в архивах. И только в XXI в. они были обнаружены в фондах ФТИ среди документов, относящихся к работе механической мастерской института!

С этого момента история ФТИ уже неразрывно связана с историей отечественной Академии наук. ■

## Chronology of the Ioffe Institute's Century in Documents from the Archive of the Ioffe Physico-Technical Institute. The Beginning

B.B.Dyakov<sup>1</sup>, D.N.Saveleva<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ioffe Physical-Technical Institute, RAS (Saint Petersburg, Russia)

<sup>2</sup>St. Petersburg Branch of Vavilov Institute for the History of Science and Technology, RAS (Saint Petersburg, Russia)

The early years of now world-known Ioffe Physical-Technical Institute in St-Petersburg are most interestingly to be considered by the preserved evidences of the epoch — the authentic documents of its Archives. With their help, an attempt to find the true picture of the past which is not always accurately reflected in literature was made.

**Keywords:** Ioffe Physical-Technical Institute, archives, Ioffe, Nemenov, document, Narkomat.