

Я. И. ФРЕНКЕЛЬ

Абрам Федорович
ИОФФЕ



А К А Д Е М И Я Н А У К С С С Р

О Р Д Е Н А Л Е Н И Н А Ф И З И К О - Т Е Х Н И Ч Е С К И Й И Н С Т И Т У Т
И М . А . Ф . И О Ф Ф Е

Я. И. ФРЕНКЕЛЬ

АБРАМ ФЕДОРОВИЧ
И О Ф Ф Е



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
Ленинградское отделение
Ленинград · 1968

Биография Абрама Федоровича Иоффе, принадлежащая перу одного из старейших сотрудников Ленинградского Физико-технического института, знавшего Абрама Федоровича на протяжении четырех десятилетий, написана в 1948 г. В процессе работы над ней Яков Ильич Френкель провел несколько вечеров, беседуя с А. Ф. Иоффе. Эта биография не была, однако, опубликована; она лишь недавно обнаружена в архиве Я. И. Френкеля. В ее текст внесено несколько небольших дополнений, вызванных, в частности, тем, что от написания статьи до ее публикации прошло 20 лет. Эти добавления, заключенные в квадратные скобки, сделаны В. Я. Френкелем, подготовившим рукопись к печати.

В. М. Тучкович

1. С.-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (1897—1902 гг.)

1. Абрам Федорович Иоффе родился в 1880 г. в г. Ромны Полтавской губернии в интеллигентной еврейской семье. После окончания реального училища в 1897 г. он поступил в С.-Петербургский технологический институт, являвшийся — помимо университетов — единственным вузом, где можно было изучать физику.* Окончил он Технологический институт в 1902 г., несмотря на то что при прохождении курса его три раза увольняли за участие в студенческих беспорядках (политических забастовках, демонстрациях и т. п.).

При прохождении летней практики А. Ф. занимался решением технических задач и, в частности, принимал участие в проектировании и постройке цеха отливки и обработки брони на Ижорском заводе; им были построены,

* [В дореволюционной России право поступления в университеты имели лишь лица, закончившие гимназию (а не реальное или коммерческое училище)].

кроме того, два моста. Эти технические работы оставили неизгладимый отпечаток на всей дальнейшей деятельности А. Ф., привив ему инженерные навыки и склонности и обеспечив органическую связь между его научными и техническими интересами.

Как уже упоминалось выше, основным мотивом поступления в Технологический институт был у А. Ф. интерес не к технике, а к физике, или, вернее, к биофизике, а именно к природе запахов. Интерес к этому вопросу А. Ф. вынес еще из реального училища под влиянием книги Тиндаля о природе теплоты. В этой книге будущего ученого поразило одно место, в котором Тиндаль упоминал, что с запахами различных трав связано характерное поглощение света в инфракрасной части спектра. Замеченная таким образом связь запахов с поглощением света (сама по себе, как мы знаем ныне, не специфическая) привела к тому, что А. Ф. в Технологическом институте стал заниматься вопросами биофизического характера на кафедре пивоварения, где он выполнил две научно-исследовательские работы: 1) о летальном действии лучистой энергии в фиолетовой и ультрафиолетовой областях на тифозные бактерии и 2) о стимулирующем действии стрихнина (и других ядов) в малых концентрациях на дрожжевые бактерии. Эти две первые самостоятельные работы А. Ф., характерные для широкого круга его научных интересов в зрелый период, остались неопубликованными.

II. РАБОТА В МЮНХЕНЕ У РЕНТГЕНА (1902—1906 гг.)

2. После окончания Технологического института, по совету проф. Н. А. Гезехуса, который в то время (1902 г.) руководил кафедрой физики в институте, А. Ф. отправился в Мюнхен к знаменитому В. К. Рентгену, где рассчитывал научиться технике тонкого физического эксперимента.

В Физическом институте Мюнхенского университета, которым заведовал Рентген, работало в то время около двух десятков молодых людей разных национальностей. Рентген охотно принял А. Ф. в их число, не уделяя ему особенного внимания, но предоставив возможность работать в своем институте, используя имевшиеся в нем приборы и препараты (в частности, препарат радия в количестве

50 мг). Для понимания той роли, которую Рентген сыграл в развитии молодого ученого, а также условий, в которых А. Ф. находился в его институте, необходимо отметить, что, несмотря на сенсационный и новаторский характер открытия рентгеновых лучей, Рентген был консервативен в своей работе и физическом мировоззрении. Так, например, в его институте термин «электрон» считали недопустимым, как соответствующий гипотетическому представлению, а не физической реальности (и это в то время, когда Дж. Дж. Томсон твердо установил реальность электрона, измерив его заряд и массу!). В работе своих учеников и сотрудников (так же как и в своей собственной) Рентген требовал фактов и только фактов, связанных с точным измерением характеризующих их величин, относясь с крайним недоверием даже к самым робким попыткам построить теорию, которая объяснила бы эти факты.

Трудно представить себе более яркий контраст, нежели контраст между чисто феноменологической установкой Рентгена и установкой его нового молодого сотрудника А. Ф. Иоффе, для которого факты представляли интерес лишь в связи с теорией, позволявшей понять их, т. е. свести в единую стройную систему, хотя бы и не соответствующую старым схемам и принципам.

Этот контраст привел к возникновению в дальнейшем ряда конфликтов между маститым немецким ученым и его начинающим русским учеником — конфликтов, в которых последний, как мы увидим позже, неизменно одерживал верх.

3. При поступлении А. Ф. Иоффе в Физический институт Мюнхенского университета ему было предложено прежде всего выполнить студенческий практикум, состоявший из 100 разнообразных работ.

Эта задача была им успешно разрешена в рекордно короткий срок — один месяц. Затем Рентген поручил А. Ф. сопоставить два метода, предложенных незадолго до этого немецким физиком П. Друде для измерения диэлектрической проницаемости и диэлектрических потерь в изоляторах (основанные на применении высокочастотных электрических колебаний). При решении этого вопроса, так же как и всех других, которые предлагались А. Ф. в дальнейшем, Рентген предоставлял ему полную самостоятельность; работой его он фактически не руководил, ограничиваясь скупой критикой методики изме-

рений, которая применялась А. Ф. Иоффе, и полученных с ее помощью количественных данных. В этой критике и заключалось в основном то воспитательное влияние, которое Рентген оказал на Иоффе. Всякий, кто знаком с экспериментальными исследованиями самого А. Ф., а также с той виртуозной критикой, которой он подвергал в дальнейшем своих учеников и сотрудников, не может не заметить в них того глубокого влияния, которое он в свое время испытал на самом себе со стороны Рентгена. В этом отношении выбор руководства, подсказанный ему проф. Гезехусом, оказался весьма удачным.

После того как А. Ф. закончил исследование и сопоставление обоих методов Друде и выяснил преимущества второго метода, Рентген дал ему (в 1903 г.) более интересную тему, а именно поручил проверить факт непрерывного выделения тепла препаратом радия, обнаруженный незадолго до этого Пьером Кюри. А. Ф. придумал совершенно оригинальную методику для проверки этого факта и измерения количества теплоты, выделяемой ежесекундно радием, основанную на исследовании разности температур между нижней частью трубки с радием и ее верхней частью и компенсации теплового эффекта последнего джоулевым теплом, выделяемым с помощью дополнительной проволоки, через которую пропускается ток. Эта работа осталась ненапечатанной, так как совершенно аналогичное исследование было сделано и опубликовано в то же время Прехтом.

Выходя из строгих измерительных рамок, указанных ему Рентгеном, А. Ф. пытался объяснить происхождение тепла, выделяемого радием, и пришел к мысли о том, что оно может обуславливаться колебаниями земного магнитного поля, если предположить, что радий обладает сверхферромагнитной восприимчивостью. Эта гипотеза не подтвердилась. Однако в процессе ее проверки А. Ф. заметил, что в присутствии сильного электромагнита свечение флуоресцирующего экрана под действием β -лучей радия резко концентрируется и усиливается. Рентген предложил ему объяснить этот казавшийся таинственным факт. Через два дня объяснение было дано, оно сводилось к тому, что β -лучи спирально закручивались вокруг магнитных силовых линий. Тогда Рентген заявил Иоффе, что он является настоящим физиком (Echter Physiker) и должен теперь написать диссертацию на степень док-



A. Langeron

тора философии. В качестве диссертации он предложил на первый взгляд случайную тему об упругом последствии в кристаллах кварца. Развитие этой темы, а также изучение различных побочных эффектов, обнаружившихся при ее выполнении, привело А. Ф. к ряду новых фундаментальных открытий, относящихся не столько к механическим, сколько к электрическим и фотоэлектрическим свойствам кристаллов, — открытий, к разработке которых после 1906 г. присоединился и сам Рентген, относившийся ранее чрезвычайно скептически к идеям и результатам своего сотрудника. Однако участие Рентгена в этих работах привело к тому, что они остались неопубликованными в течение последующих 15 лет, а отчасти и поныне.

4. Вопрос об упругом последствии в твердых телах привлекал внимание крупнейших ученых, таких, например, как Лангвелль и Больцман, которые сводили его к различным неоднородностям в строении этих тел. Отсюда следовало, что в совершенном монокристалле кварца последствие должно отсутствовать. В действительности, однако, оно в нем наблюдалось. А. Ф. естественно, связал этот факт с пьезоэлектрическими свойствами кварца (незадолго до этого обнаруженными П. Кюри). При этом последствие можно было свести к сохранению деформации за счет электрической поляризации кварца, сопровождавшей эту деформацию, и медленного (ввиду чрезвычайно малой электропроводности кварца в обычных условиях) рассасывания возникающих электрических зарядов. Для проверки этой гипотезы А. Ф., вопреки Рентгену, попытался увеличить электропроводность кварца, освещая его лучами радия или Рентгена. Сам Рентген полагал на основании своих собственных опытов, что рентгенизация твердых диэлектриков не приводит к повышению их электропроводности. Первоначальные опыты А. Ф., казалось, подтвердили этот вывод. Дальнейшее настойчивое исследование, в котором Рентген отказывался принимать какое-либо участие, показало, однако, что предварительно рентгенизованные кристаллы кварца, калиевой соли и других непроводящих веществ приобретают способность увеличивать свою проводимость под влиянием видимого света. Сначала А. Ф. заметил это обстоятельство по, казалось бы, совершенно незакономерному колебанию электропроводности изучаемых рентгенизованных кри-

сталлов в зависимости от степени облачности неба. Рентген был крайне недоволен «фантастическими» опытами Иоффе и даже не хотел с ним встречаться и разговаривать. Однако он вынужден был все же зайти в его лабораторию и лично убедиться в том, что полученные им результаты представляют собой не плод воображения его сотрудника, а твердо установленные и воспроизводимые экспериментальные факты. Тогда Рентген окончательно признал себя побежденным и выразил желание принять участие в дальнейшем развитии исследований А. Ф., но уже не по предложенной ему первоначально теме (об упругом последствии кварца), которая была вскоре благополучно оформлена и защищена в качестве диссертации (впоследствии, в 1914 г., та же тема с разными дополнениями послужила диссертацией на степень доктора физики С.-Петербургского университета), а по теме самого Иоффе. Последнему, таким образом, принадлежит честь открытия внутреннего фотоэффекта в рентгенизованных кристаллах, а также изучения всего комплекса явлений, связанных с этим эффектом, в частности, явления окраски кристаллов, спектров поглощения света в них, перехода F -центров в U -центры и обратно и т. д.* Эти явления были снова обнаружены и подробно изучены через 12 лет Полем и его школой в Геттингене; соответствующие публикации начали появляться лишь в 1919—1920 гг., тогда как пионерские работы А. Ф. были задержаны печатанием до 1922 г., когда А. Ф. впервые после войны получил возможность вновь побывать за границей и повидаться с Рентгеном. У Рентгена хранилась вся документация опытов, проведенных как самим Иоффе, так и совместно с ним, в виде 300 страниц рукописи и 17 лабораторных журналов, запечатанных в конверте, на котором Рентген еще во время войны собственноручно написал: «в случае моей смерти сжечь».

К периоду 1904—1906 гг. относятся также исследования А. Ф., выполненные им частично совместно с Рентгеном, о прохождении электрического тока через ионные кристаллы при повышенных температурах, а также связанные с ними исследования высоковольтной поляризации в подобных кристаллах (в которых электрический ток переносится не электронами, а ионами). Все эти исследе-

* [Я. И. Френкель для трактовки результатов А. Ф. Иоффе использует современную терминологию, отсутствовавшую в те годы, когда эти результаты были получены].

дования были, к сожалению, опубликованы (совместно с Рентгеном) лишь в 1923 г. Эта ничем не оправданная многолетняя задержка в публикации замечательных работ А. Ф. об электрических и фотоэлектрических свойствах диэлектрических кристаллов является, по моему мнению, серьезным тормозом в истории развития русской физики.

III. ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

5. В 1906 г. А. Ф. Иоффе вернулся в Россию с дипломом доктора философии Мюнхенского университета и был принят в С.-Петербургский политехнический институт на должность лаборанта на кафедре физики, которой в то время руководил профессор В. В. Скобельцын. Здесь А. Ф. вскоре организовал научно-исследовательскую группу, в которую входили другие лаборанты (И. С. Щегляев, А. И. Тудоровский, Ф. А. Миллер); им он представил темы и руководство. Сам А. Ф., всегда отличавшийся способностью быстро схватывать новые идеи и увлекаться ими, предпринял исследование по проверке квантовой теории света в той радикальной форме теории фотонов, которую придал ей в 1905 г. Эйнштейн. В 1907 г. А. Ф. опубликовал небольшую теоретическую работу, где применил идеи Эйнштейна к трактовке экспериментальных результатов Ф. Ладенбурга по внешнему фотоэлектрическому эффекту; затем он приступил к экспериментальной проверке теории фотонов с помощью своих замечательных опытов по фотоэлектрическому эффекту. Однако, не торопясь по обыкновению с публикацией своих результатов, он дал себя обогнать — в отношении сроков этой публикации — Милликену, который, независимо от него, осуществил практически ту же самую работу (в 1912 г.), с той лишь разницей, что Милликена интересовал не столько прерывный характер самого явления, сколько связанный с ним новый метод определения заряда электрона.

В 1910 г. А. Ф. вернулся к развитию фотонной теории света, но уже не в элементарном, а в статистическом ее аспекте, показав (впервые), что тепловое излучение можно трактовать как фотонный газ, и сформулировав из этого представления законы Стефана—Больцмана и Вина. При этом он нашел, что формула Планка может быть получена, исходя из представления о существовании наряду с одинокими фотонами [наличие которых в «черной полости»

постулировал Эйнштейн в своей работе 1905 г.], «ассоциированных» фотонов или «фотонных молекул». Дальнейшее совершенствование этих идей П. С. Эренфестом, с одной стороны, и Ю. А. Крутковым — с другой, привело к разработке теории адиабатических инвариантов, сыгравшей важную роль в развитии квантовой механики.

[Здесь следует сказать, что Павел Сигизмундович Эренфест — венский физик-теоретик, в течение пяти лет (с 1907 по 1912 г.) живший в Петербурге, оказал, по воспоминаниям А. Ф. Иоффе, большое влияние как на развитие теоретической физики в России в целом, так и на самого Абрама Федоровича в частности. Важные работы А. Ф. Иоффе 1910 г. по квантовой теории черного излучения были во многом стимулированы дискуссиями с Эренфестом, внесшим существенный вклад в эту теорию. П. С. Эренфест высоко оценил результаты Иоффе; реферируя его работу в журнале «Вопросы физики» за 1911 г., он писал, что в них дано «очень значительное обобщение планковской гипотезы атомов энергии». Этой оценкой работ А. Ф. Иоффе Эренфест поделился в своих письмах к Эйнштейну. Видимо, он писал ему о выдающихся способностях Иоффе. В ответном письме от 12 февраля 1911 г. Эйнштейн заметил: «в способностях Иоффе я не сомневаюсь»].*

С 1912 г. у А. Ф. в Политехническом институте впервые появились ученики, среди которых следует особенно отметить Капицу и Лукирского. В следующем, 1913 г., А. Ф. Иоффе принял доцентуру в Петербургском университете, где он приобрел новых учеников (Н. Н. Семенова, К. Ф. Нестурха, Я. И. Френкеля и др.). Необходимо подчеркнуть, что А. Ф. совершенно по-новому поставил вопрос о подготовке молодых кадров по физике в России. До этого в университетах и других учебных заведениях особенно способным студентам, желавшим подготовиться к самостоятельной научной работе, предлагалось в лучшем случае повторять исследования, проведенные ранее за границей. А. Ф. смело стал на новый путь, который он сам прошел — путь новаторства, самостоятельной научно-исследовательской работы, которая заключалась бы в открытии и изучении новых явлений, а не в повторении

* [Копии писем Эйнштейна представлены его фондом, которому, в лице д-ра О. Натана, мы признательны за разрешение опубликовать эту небольшую выдержку].

заграничных азов. При этом он не только не препятствовал инициативе своих молодых учеников и сотрудников, подобно Рентгену, но всячески ее поддерживал и развивал, следуя Рентгену лишь в исключительно строгой и придирчивой критике экспериментальных методов и результатов. Благодаря этому А. Ф. удалось привлечь к себе ряд талантливых молодых людей, составивших впоследствии то ядро, из которого возникли два детища А. Ф. Иоффе — Ленинградский физико-технический институт и физико-механический факультет Ленинградского политехнического института.

Помимо исследовательской работы, А. Ф. с 1906 г. вел в Политехническом институте преподавание, читая в течение многих лет общий курс физики, который он зафиксировал позднее в виде ставшего ныне классическим учебника молекулярной физики. В составлении руководств по другим отделам курса физики ему помогали в дальнейшем его ученики и сотрудники.

IV. ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

6. В человеке, столь склонном к новаторству, каким всегда являлся А. Ф. во всех вопросах науки, техники, культуры, Октябрьская революция встретила преданного друга и участника в строительстве новой жизни, новой науки и техники, новой культуры. Совместно с профессором М. И. Неменовым А. Ф. Иоффе деятельно занимался организацией нового научно-исследовательского учреждения, которое могло бы воспитывать необходимые молодой Советской республике кадры физиков. Этим учреждением был Государственный рентгенологический и радиологический институт с отделами физико-техническим, медико-биологическим, оптическим и радиевым, открытый в конце 1918 г. Однако уже в 1921 г. два первых отдела были реорганизованы в самостоятельные институты, причем физико-технический отдел, руководимый А. Ф. Иоффе, получил наименование Государственного Физико-технического рентгеновского института (ГФТРИ).*

* [Оптический отдел еще раньше выделился из состава института в самостоятельное научное учреждение, возглавленное Д. С. Рождественским. Радиевый институт был образован одновременно с ГФТРИ; его первым директором стал В. И. Вернадский].

Приставка «рентгеновский» к названию института являлась не только данью уважения к Рентгену, но соответствовала той роли, которую играли рентгеновы лучи как орудие и объект исследования в первоначальный период существования института.

Первой работой, выполненной под эгидой нового института, было изучение пластической деформации монокристаллов, проведенное в 1919 г. А. Ф. Иоффе совместно с М. В. Кирпичевой и приведшее к открытию явлений астеризма — за 4 года до того, как этим явлением занялись за границей (Шмид, Мазинг и др.). Эта классическая работа, в которой было дано не только описание явлений астеризма, но и полная их интерпретация, а тем самым и детальная картина пластической деформации, была напечатана лишь в 1922 г. в английском журнале *Philosophical Magazine*. [Работа была представлена к опубликованию Э. Резерфордом].

Исследование пластической деформации (методом рентгеновских лучей) естественно привело А. Ф. к изучению проблемы прочности твердых тел и двух механизмов их разрушения — путем пластического течения и хрупкого разрыва. При этом он впервые установил относительный характер различия между пластичностью и прочностью данного материала, например каменной соли, показав, что один и тот же материал является пластичным при высоких температурах и хрупким при низких. Вместе с тем, развивая идеи английского физика Гриффитса, А. Ф. Иоффе показал, что сравнительно малая прочность, обнаруживаемая твердыми телами в условиях их хрупкого разрушения, обусловлена существованием на их поверхности незначительных дефектов — зародышевых трещинок, на которых сосредоточиваются прилагаемые упругие напряжения. При устранении подобных трещинок с поверхности кристаллов каменной соли путем частичного растворения ее в воде прочность на разрыв этих кристаллов увеличивается в десятки раз, приближаясь к пределу, характеризующему электрической теорией сил сцепления. Иоффе показал далее, что, находясь под водой, т. е. в условиях, при которых зародышевые трещинки не могут образоваться, стерженьки каменной соли при комнатной температуре приобретают гибкость, которой были совершенно лишены при обычных условиях. [Эти эксперименты ныне воспроизводятся в качестве лекционных demonstra-

ций по общему курсу физики]. Возрастание прочности твердых тел при удалении поверхностных дефектов путем растворения получило в русской и иностранной литературе название «эффекта Иоффе». Эти работы А. Ф., проведенные им совместно с М. А. Левитской, можно по праву назвать классическими. Они породили большую серию исследований, посвященных как самому этому вопросу, так и связанных с ним, — например об элементарном акте пластической деформации (М. В. Классен, Н. Н. Давиденков), о генезисе поверхностных дефектов (А. В. Степанов), о статистической теории прочности тонких стеклянных нитей и зависимости их средней прочности от диаметра (А. П. Александров и С. Н. Журков) и т. д. Они продолжают в разных странах, особенно в Америке, и до настоящего времени.

Примерно в 1924 г. А. Ф. возобновил свои работы по электрическим свойствам диэлектрических кристаллов, начатые еще у Рентгена. К проведению этих исследований он привлек своих многочисленных учеников и сотрудников по Физико-техническому институту (в частности, Д. А. Рожанского, К. Д. Синельникова, Б. М. Гохберга и др.). В случае ионных кристаллов А. Ф. особенно интересовал совершенно не изученный вопрос о пробивной прочности этих кристаллов. Еще ранее А. Ф. обнаружил возникновение в них высоковольтной поляризации, сосредоточенной в чрезвычайно тонких слоях. Напряженность электрического поля в этих слоях значительно превышала ту, которую способны выдержать толстые слои тех же кристаллов. Подробное исследование этой «тонкослойной изоляции» не оправдало связанных с ней надежд на техническое использование высоковольтных аккумуляторов с малыми габаритами. Однако оно привело к ряду важных открытий и изобретений, в частности, к открытию нового весьма ценного изолирующего материала — стирола. Изучение пробоя твердых диэлектриков при сравнительно высоких температурах (Н. Н. Семенов, А. Ф. Вальтер) привело далее к созданию теории теплового пробоя их (В. А. Фок, Н. Н. Семенов) вследствие разогрева под влиянием прохождения электрического тока и возрастания электропроводности, т. е. силы тока за счет этого разогрева. А. Ф. показал, однако, что при обычных и низких температурах пробой осуществляется другим механизмом электронного характера.

Далее, ряд сотрудников института занимался изучением вопроса об электронной проводимости диэлектрических кристаллов, очувствленных к свету предварительной рентгенизацией, продолжая исследования, выполненные ранее самим А. Ф. и получившие дальнейшее развитие в работах школы Р. Поля в Геттингене. Позднейший этап этих исследований имел целью проверить эйнштейновский закон квантового эквивалента (согласно которому поглощение одного фотона приводит к появлению одного свободного электрона), изучить зависимость спектров поглощения, связанных с окраской кристаллов, от температуры и других условий. Влияние А. Ф. Иоффе на развитие всей этой области исследований и притом не только в Ленинграде, но также в Москве, Киеве, Одессе и других центрах научно-исследовательской мысли в СССР было поистине огромно.

В 1927 г. А. Ф. был приглашен на 1 год в США в качестве гостя Калифорнийского университета, где он прочитал ряд лекций по физике кристаллов (соответствующая книга была опубликована на английском и русском языках).

В это время за границей стала развиваться новая область физики, сулившая чрезвычайно важные технические приложения, а именно физика электронных полупроводников. А. Ф. сразу оценил ее научное и техническое значение и включился в ее разработку. С 1930 г. вопрос об электронных полупроводниках и их применениях в технике и промышленности стал одной из ведущих тем в работе всего коллектива ЛФТИ.* Этому коллективу и прежде всего самому А. Ф. принадлежит высокая честь наиболее полного и глубокого изучения этой области, а также широкого внедрения полученных результатов в нашу отечественную промышленность. Твердые выпрямители (из селена, закиси меди, сульфида меди и многих других соединений), фотоэлементы, чувствительные не только к видимому свету, но и к инфракрасным лучам большой длины волны, высоковольтные разрядники и многие другие полупроводниковые приборы, получившие в последующие годы важное применение в технике и народном хозяйстве, разработаны в ЛФТИ, где ими в течение многих лет занимались ближайшие сотрудники А. Ф. —

* [Так стал называться ГФТРИ с конца 1931 г.].

Б. Т. Коломиец, Ю. П. Маслаковец, А. Н. Арсеньева, В. П. Жузе, Ю. А. Дунаев и др.

[В числе работ А. Ф. Иоффе по полупроводникам видное место занимают исследования физических основ эффекта выпрямления. В 1932 г. А. Ф. Иоффе и Я. И. Френкель разработали теорию выпрямления тока на границе металл—полупроводник. Согласно этой теории, под влиянием приложенного поля определенного направления электроны туннельным эффектом проникали через зазор на границе металл—полупроводник, имевший, по мысли Иоффе и Френкеля, размеры порядка 10^{-7} см, т. е. толщину нескольких атомных слоев. Как вскоре выяснилось, эту теорию нельзя было привлечь для полного объяснения эффекта выпрямления в случае меднозакисных вентилях (так, например, непосредственные измерения показали, что зазор намного превосходит принятую в работе Иоффе и Френкеля толщину). Но сама по себе идея работы о туннельном выпрямлении оказалась справедливой; много позднее, в 1958 г., она была привлечена для объяснения принципов работы туннельных диодов, изобретенных и исследованных японским физиком Есакой и получивших ныне широкое распространение в технике (в первой публикации на эту тему — письме в редакцию *Physical Review* — Есака непосредственно ссылается на работу Иоффе и Френкеля).

Экспериментальное исследование эффекта выпрямления было выполнено А. Ф. Иоффе совместно с А. В. Иоффе в серии работ 30-х годов, продолженных, впрочем, и после войны. На основе этих исследований тогда же Б. И. Давыдовым (частично совместно с Д. И. Блохинцевым) была развита теория выпрямления на контакте двух полупроводников с разным значением удельного сопротивления, а также и на контакте металл—полупроводник. При этом из теории Давыдова непосредственно и с необходимостью следовало образование запирающего слоя — слоя с повышенным значением сопротивления. Теория выпрямления на контакте *p*- и *n*-типов полупроводников была дана в работах А. И. Губанова].

Несмотря на достигнутые успехи вопрос об электронных полупроводниках остается и поныне * одним из важ-

*[Это утверждение Я. И. Френкеля, сделанное в 1948 г., остается справедливым и для Физико-технического института наших дней].

нейших в тематике ЛФТИ. Однако в последние годы А. Ф. дал ему новое направление, связав электронные полупроводники не столько с типичными диэлектриками, в которые многие из них превращаются при низких температурах, сколько с типичными металлами, электропроводность которых не только не уменьшается, но, наоборот, увеличивается при понижении температуры. Опыты, проведенные Ю. П. Маслаковцом, Е. Д. Девятковой, Ю. А. Дунаевым и другими по указанию А. Ф., показали, во-первых, что многие полупроводники, проводимость которых обуславливается примесями (например, PbS_2), при достаточно большом содержании последних или при достаточно низких температурах ведут себя фактически как металлы. При этом роль примесей в кристаллах типа Cu_2O играют избыточные (по отношению к химической формуле) атомы металла (Cu) или металлоида (O).

Далее А. Ф. и его сотрудниками было показано, что стехиометрический избыток металла в соединениях этого типа приводит к появлению обычной электронной проводимости, тогда как избыток металлоида, атомы которого захватывают и сравнительно прочно удерживают электроны — к проводимости «дырочного» типа, обусловленной эстафетным перемещением электронов от одного металлоидального атома к соседнему, которое по существу эквивалентно перемещению «положительных электронов».*

[Серия важных исследований А. Ф. Иоффе, начатая в послевоенные годы, посвящена выяснению взаимосвязи между энергетическим спектром полупроводников и дальним и ближним порядками в строении их кристаллической решетки. В экспериментах А. Р. Регеля были в развитие идей А. Ф. Иоффе исследованы свойства полупроводниковых материалов в диапазоне температур, включающем в себя точку плавления. При этом было показано, что резкое изменение координационного числа, т. е. числа ближайших к данному атому (иону) соседей, сопровождается столь же резкой потерей материалом его полупроводниковых свойств — перестройкой энергетического спектра (это имеет, например, место в случае германия и кремния).

* [Представление об электронных, так же как и об ионных, дырках под влиянием экспериментальных исследований А. Ф. и его сотрудников было введено в 1924 г. Я. И. Френкелем].

Напротив, при неизменности (среднего) значения координационного числа, полупроводниковые свойства сохраняются у материала и в расплавленном состоянии. Таким образом, оказалось, что при переходе из твердого в жидкое (аморфное) состояние сохраняется не только характер теплового движения и целый ряд механических свойств тела (Я. И. Френкель), но и в некоторой степени остаются неизменными его электрические характеристики, определяемые типом энергетического спектра. Справедливость изложенной концепции Иоффе о том, что энергетический спектр определяется ближним порядком, была подтверждена работами Б. Т. Коломийца по стеклообразным полупроводникам.

Можно сказать, что полупроводниковые материалы по своим электрическим свойствам занимают по отношению к металлам и диэлектрикам такое же промежуточное положение, как и жидкости по отношению к кристаллическим телам и газам. Продолжая эту аналогию, заметим, что подобно тому, как повышение температуры и проникновение посторонних атомов в кристалл превращает его из идеального в реальный, эти же факторы способствуют переходу «идеального изолятора» — диэлектрика в полупроводник].

В самое последнее время, уже после войны, А. Ф. показал, что многие металлические сплавы при точном стехиометрическом соотношении между концентрациями обоих компонентов ведут себя в отношении электрических, оптических и механических свойств подобно диэлектрикам, т. е. обладают ничтожно малой проводимостью, прозрачны и хрупки. Этот интересный факт свидетельствует о том, что «металличность» элемента представляет собой относительное свойство. Один и тот же элемент А может являться металлическим по отношению к другому — В (в частности, к себе самому) и металлоидальным — по отношению к третьему — С.

С начала 30-х годов наряду с исследованием электронных полупроводников, представляющих собой соединительное звено между металлами и диэлектриками, по инициативе А. Ф. Иоффе в Физико-техническом институте возникли два новых направления работы, а именно: по физике атомных ядер, с одной стороны, и по физике высокополимерных соединений — с другой. Обе области сулили технические применения первостепенного значения

и поэтому представлялись особенно важными и интересными для Физико-технического института.

В области атомного ядра советские физики до того времени почти не работали, так что можно без преувеличения сказать, что А. Ф. явился главным инициатором советских исследований этого направления. Хотя сам он не работал в нем, однако принимал живейшее участие в планировании, развитии и обсуждении соответствующих исследований; ему удалось вовлечь в них группу талантливых сотрудников (И. В. Курчатов, братья Алихановы, Л. А. Арцимович и др.), которые занимались ранее совсем другими вопросами, в частности связанными с рентгеновскими лучами, причем А. Ф. сумел внушить им бодрость и уверенность в успехе, без которых переход на работу в совершенно новой и притом неосвоенной области, был бы чрезвычайно труден. Я помню, что А. Ф. было затрачено немало труда и энергии, для того чтобы сагитировать всех их расстаться со старыми излюбленными темами и пуститься в странствование по заманчивым, но еще совершенно неизведанным, по крайней мере у нас, путям.

Аналогичным образом дело обстояло и с вопросом о высокомолекулярных веществах. Только такому новатору, каким всегда был А. Ф. Иоффе, еще в начале 30-х годов могла прийти в голову смелая мысль о том, что советским физикам следует заняться этой проблемой, изучение которой имеет решающее значение для новой области промышленности пластмасс. Я помню, как А. Ф. уговаривал П. П. Кобеко и А. П. Александрова не пугаться новизны работы, сопряженной с переходом к исследованиям незнакомой проблемы высокополимеров и пластмасс. В конце концов они сдались, эта проблема была включена в тематику института и в скором времени П. П. Кобеко, А. П. Александров, С. Н. Журков, М. И. Корнфельд, Е. В. Кувшинский и полтора-два десятка молодых сотрудников, принятых в ЛФТИ прямо со студенческой скамьи, уже могли похвастаться серьезными достижениями в новой области.

Благодаря этому ЛФТИ до сих пор сумел удержать ведущую роль в решении этой проблемы по отношению к ряду других институтов, включившихся в нее позже.*

* [П. П. Кобеко, Е. В. Кувшинский, Г. П. Михайлов, С. Е. Бреслер и другие сотрудники ФТИ в 1952 г. перешли в Институт высоко-

Впрочем, в годы Отечественной войны, а также в последующие 3 послевоенных года, институт по инициативе А. Ф. уделял главное внимание наиболее актуальным оборонным вопросам, ввиду чего работа по всем другим вопросам отодвинулась временно на задний план. К сожалению, недостаток в то время квалифицированных кадров в значительной мере ограничивал размах соответствующих работ в ЛФТИ.

[А. Ф. Иоффе прожил долгую и счастливую жизнь, отданную любимой работе, служению своему отечеству. Периоды личных неудач, связанные с чисто научной и научно-организационной деятельностью, неизбежные для столь много и интенсивно работающего человека, были у А. Ф. Иоффе сравнительно кратковременными. К их числу относятся неоправдавшиеся надежды, которые возлагались Иоффе на высоковольтную изоляцию, надежды, разделявшиеся его сотрудниками и многими учеными за рубежом. Нелегкими для А. Ф. Иоффе были дни, когда во время прений по докладу, посвященному почти 20-летней деятельности ФТИ, на сессии Академии наук СССР (март 1936 г.) он подвергся слишком резкой и подчас несправедливой критике, исходившей от ряда его непосредственных учеников. Трудным оказался для Абрама Федоровича и уход с поста директора Физико-технического института, которым он руководил более 30 лет. В течение последних полутора лет работы в ФТИ он возглавлял отдел, объединявший ряд полупроводниковых лабораторий этого института. Это были годы интенсивной научной деятельности.

Мы подчеркиваем это обстоятельство еще и потому, что А. Ф. Иоффе, естественно, было нелегко приспособиться к своему новому положению в институте. К сожалению, эта задача не была ему облегчена и по отношению к нему не было проявлено должного такта. В сказанном можно, например, убедиться, просматривая протоколы заседаний Ученого совета института того периода, на которых обсуждалась деятельность А. Ф. Иоффе. Приходится

молекулярных соединений АН СССР, где составили его основное «физическое» (в отличие от «химического») ядро. Проблемами полимеров, их механическими свойствами занимается сейчас лаборатория С. Н. Журкова].

признать неизбежность и правомерность принятого Абрамом Федоровичем решения уйти из института. Президиум Академии наук удовлетворил его просьбу, а в марте 1952 г. была организована при Физико-математическом отделении Академии наук самостоятельная Лаборатория полупроводников, во главе которой и стал А. Ф. Иоффе. В состав лаборатории должен был войти целый ряд его сотрудников (в том числе А. И. Ансельм, В. П. Жузе, А. В. Иоффе, Ю. П. Маслаковец, А. Р. Регель, М. С. Соминский, Л. С. Стилбанс и другие — штат лаборатории на первых порах состоял из 36 человек). Здесь темп и масштабы работ начали непрерывно ускоряться; увеличивалось число сотрудников (вдвое — к осени 1954 г., в основном за счет пришедшей из вузов молодежи). Работы проводились в направлении изучения электрических и тепловых свойств полупроводников, термоэлектричества (последнее имело четкую техническую направленность). Свидетельством успешности этих работ было решение Президиума академии, принятое в ноябре 1954 г., об организации на базе Лаборатории полупроводников Института полупроводников Академии наук, ставшего, таким образом, последним в длинном ряду институтов, организованных А. Ф. Иоффе.

Все последующие годы жизни Абрама Федоровича прошли под знаком радостного творчества в стенах этого молодого института, которым руководил старый ученый с молодым и острым умом исследователя и организатора. Число публикаций А. Ф. Иоффе в научных журналах, отражающее научную активность ученого, после пребывания в не очень глубоком минимуме 1950—1953 гг., начиная с 1954 г. сделало резкий скачок вверх. Его продуктивность не может не вызывать удивления и восхищения. А. Ф. Иоффе за эти годы издал ряд получивших широкую известность, не раз переиздававшихся и переведенных на многие языки монографий («Полупроводники в современной физике», 1945 г.; «Термоэлектрическое охлаждение»; «Полупроводниковые термоэлементы», 1956 г.; «Физика полупроводников», 1957 г., и др.). В 1958 г. А. Ф. Иоффе организовал и возглавил редакционную коллегию нового журнала «Физика твердого тела». Отметим здесь, что когда директором Физико-технического института стал один из учеников А. Ф. Иоффе — Б. П. Константинов, Абрам Федорович вновь вошел в состав Ученого

совета Физико-технического института (с 1957 г.), института, носящего сейчас его имя].*

7. А. Ф. Иоффе — не только блестящий ученый-новатор; он вместе с тем — пламенный советский патриот. Если он всю жизнь служил науке, то с 1917 г. он заставлял науку служить советскому народу, советскому государству.

Это служение шло по двум линиям. С одной стороны, с середины 20-х годов А. Ф. пытался применять результаты научно-исследовательской работы возглавляемого им коллектива, и в том числе своей собственной к нуждам обороны.

Еще в конце 20-х годов А. Ф., насколько мне известно, впервые поставил вопрос о противовоздушной обороне при помощи радио, позднее нашедшей себе окончательное воплощение в виде радара. Однако задолго до того, как англичане и американцы занялись этой проблемой, она была в первом приближении разрешена у нас по инициативе А. Ф. Иоффе, который выдвинул принцип использования радио-эха для обнаружения и локализации вражеских самолетов. Практическая осуществимость этой идеи была показана теоретическими подсчетами самого А. Ф. Ее реализация была поручена им проф. Д. А. Рожанскому и Ю. Б. Кобзареву, который продолжал ее после смерти Рожанского. В результате в конце 30-х годов Советский Союз уже обладал радиоаппаратурой, необходимой для обнаружения и локализации вражеских самолетов на расстоянии порядка полутора-двух километров. [Серийный выпуск радиолокационных установок наладить не успели — началась война. На вооружение были приняты английские радиолокационные станции. Но наряду с ними, в частности под Ленинградом, действовали станции отечественного производства, построенные еще в довоенные годы на основе разработанных в ФТИ принципов].

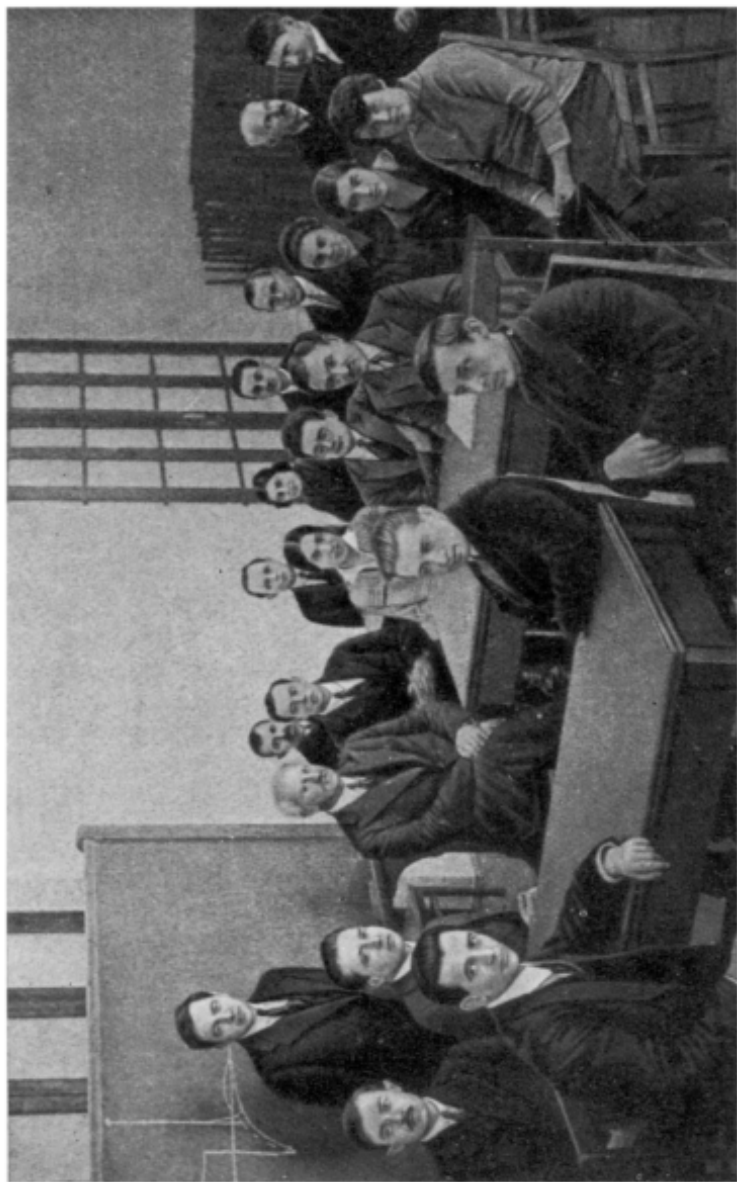
Во время Великой Отечественной войны А. Ф. целиком отдался служению делу обороны нашей страны и мобилизовал на это почти всех своих сотрудников. Наиболее крупными успехами в этом плане являются разработка и внедрение защиты наших военных судов от магнитных

* [Жизни и деятельности А. Ф. посвящена монография М. С. Сомицкого «Абрам Федорович Иоффе», выпущенная издательством «Наука» в 1965 г].

мин, чем мы обязаны в основном А. П. Александрову.* В ряде других оборонных работ более сложного характера также были достигнуты серьезные успехи, которые, однако, не успели найти себе практического применения.

Одновременно с оборонными работами или, вернее, многочисленными идеями этих работ А. Ф. высказал в конце 20-х годов ряд новаторских идей, имевших большое значение для нашего мирного строительства, но оставленных, к сожалению, неосуществленными. Сюда относятся смелые идеи о техническом использовании разности температур между водой в океане и атмосфере в арктических областях СССР для обеспечения дешевой энергией двигателей, а также использовании обратного цикла Карно для динамического отопления зданий; идея о создании там же, в Арктике, больших городов с общей крышей для лучшего сохранения тепла при искусственном освещении и кондиционированном воздухе; идея превращения пустынь в цветущие области путем искусственного закрепления почв (разными клеящими веществами, в том числе битумом). Последняя идея и много других, не менее интересных, были высказаны и разработаны А. Ф. Иоффе в созданном им в 1932 г., т. е. в период быстрого развития коллективизации, Агрофизическом институте, основная задача которого заключалась в разработке системы мероприятий по созданию и регулированию искусственного микроклимата различных областей, а также в изменениях консистенции почвы. Что касается микроклимата, то он определяется в основном радиационным поглощением и отдачей тепла и влаги. Поглощение и отдачу тепла можно, в принципе, регулировать, покрывая землю поглощающими или отражающими свет красками; влажность — делая почву водонепроницаемой (гидрофобной) или, наоборот, усиливая ее сродство с влагой (в засушливых местностях). Наряду с этими фундаментальными идеями А. Ф. Иоффе в Агрофизическом институте поставил ряд интересных работ по изучению влияния искусственного освещения (его спектрального состава и интенсивности) на рост растений.

* [Работы по радиолокации были удостоены Государственной премии в 1941 г. (Ю. Б. Кобзарев, Н. А. Погорелко, Н. Я. Чернецов). В 1942 г. за работы по противоминной защите Государственную премию получила другая группа сотрудников ФТИ (А. П. Александров, Б. А. Гасп, И. В. Курчатov, В. Р. Регель, П. Г. Степанов и В. М. Тутковский).]



Семинар А. Ф. Иоффе (начало 30-х годов).

8. Вторая линия, по которой А. Ф. Иоффе сумел оказать нашей стране колоссального значения услугу, — это подготовка молодых кадров. Сам Физико-технический институт, которым он бесценно руководил [в течение 30 лет], явился громадной школой молодых кадров. Я думаю не будет преувеличением сказать, что четверть или треть всех крупных физиков, которыми наша страна обогатилась за последние 30 лет, прошли под руководством или влиянием А. Ф. школу Физико-технического института. Это обстоятельство вытекает, например, из рассмотрения состава молодых членов-корреспондентов Академии наук СССР, избранных осенью 1946 г. [А. И. Алиханьян, Л. А. Арцимович, Г. А. Гринберг, Я. Б. Зельдович, Г. В. Курдюмов, М. А. Михеев, Ю. Б. Харитон, А. И. Шальников]. Физико-технический институт в процессе своего развития претерпел ряд превращений, сходных с теми, которые претерпевает всякий жизнеспособный организм и которые связаны с его ростом и размножением.

Рост института осуществлялся вначале без его распада на отдельные — дочерние — организмы, за счет возникновения новых отделов, остававшихся связанными друг с другом. В результате в начале 30-х годов институт превратился в обширный комбинат различных физико-технических институтов с совершенно разными направлениями. В конце концов все эти разнородные отделы выделялись в самостоятельные научно-исследовательские институты: Электро-физический институт, возглавляемый А. А. Чернышевым, Институт химической физики, руководимый Н. Н. Семеновым, Институт музыкальной акустики (Н. Н. Андреев) и др. Наряду с «почкованием» размножение Физико-технического института осуществлялось и путем занесения его «спор» в другие города, где возникали его филиалы, вырастая сразу же в самостоятельные физико-технические институты: Сибирский (Томск, 1928 г.), Украинские (Харьков, 1930 г.; Днепропетровск, 1933 г.), Уральский (Свердловск, 1932 г.). Все эти институты-филиалы организовывались на базе более или менее крупных и мощных групп, выделявшихся из состава Ленинградского ФТИ (в особенности много сотрудников ушло при образовании Харьковского и Свердловского институтов). Однако их место тотчас же занимали новые свежие силы, подготовляемые исподволь

в том же Ленинграде — на Физико-механическом факультете Политехнического института.

Организация этого факультета представляет собой также бессмертную заслугу А. Ф. Иоффе. Цель факультета заключалась в выпуске инженеров-физиков, подготовленных к новаторству в различных областях техники, во внедрении в нее новейших результатов теоретической науки. До этого высшие технические учебные заведения физикой практически не интересовались, а физики, выходявшие из стен университетов, оставались весьма далекими от нужд и запросов техники. Следует удивляться дару предвидения, позволившего А. Ф. еще в самом начале революции усмотреть преимущества, которые сулило объединение физики и техники для развития как той, так и другой и для становления тяжелой промышленности в СССР.

А. Ф. Иоффе оставался бессменным деканом Физмеха в течение ряда лет, и отошел от руководства работой факультета лишь примерно с 1948 г., когда выросли кадры, способные его заменить. Здесь надо заметить, что наиболее способные студенты физико-механического факультета стажировались в Физико-техническом институте и даже зачислялись туда научными сотрудниками еще до окончания Политехнического института (В. Н. Кондратьев, Ю. Б. Харитон, А. И. Лейпунский, Г. В. Курдюмов, А. И. Шальников и многие другие). Этим обеспечивалась форсированная подготовка кадров, которые были срочно необходимы нашей стране с ее быстро растущей техникой и промышленностью и которые оказываются еще более дефицитными в настоящее время вследствие возросших запросов со стороны промышленности и задержки в их подготовке, вызванной войной.

Инициатива А. Ф. Иоффе была продолжена его «эmissарями» в других городах, где им были созданы самостоятельные физико-технические институты: в этих же городах при соответствующих втузах возникали физико-механические факультеты. В условиях провинции последние не всегда оказывались, однако, жизнеспособными. В послевоенные годы факультеты этого типа стали вновь организовываться в связи с техническими проблемами ядерной физики, однако уже вне всякой связи с ЛФТИ.

После окончания процесса размножения путем «почкования» и «спорами» Физико-технический институт вер-

нулся более или менее в исходное состояние, однако с большим уроном в отношении квалифицированных сотрудников, большая часть которых оказалась на руководящих постах в других институтах, являющихся его потомством.

9. Заслуги А. Ф. Иоффе как ученого получили высокую оценку избранием его действительным членом Академии наук еще в самом начале его работы при Советской власти (8 мая 1920 г.); [уже в 1948 г. А. Ф. Иоффе был старейшим по дате избрания академиком]. В 1943 г. он удостоен Государственной премии 1-й степени за исследования по электронным полупроводникам. По случаю своего шестидесятилетия, исполнившегося в 1940 г., он был награжден орденом Ленина. [В 1945 г. — вторым орденом Ленина, а в 1955 г. ему присваивается звание Героя Социалистического Труда].

В сентябре 1922 г. А. Ф. был избран председателем Всесоюзной ассоциации физиков и до 1930 г. (когда эта Ассоциация фактически прекратила свое существование) сумел организовать и провести, как говорится, на весьма высоком уровне четыре Всесоюзных физических съезда. К участию в этих съездах наряду с советскими физиками широко привлекались также и многие иностранные ученые [Дирак, Паули, Зоммерфельд, Эренфест, Дебай, Бори, Поль, Франк, Бриллюэн и др.]. В организацию съездов, также как и в другие свои мероприятия, А. Ф. всегда вносил элементы оригинальности, которые вначале обычно встречались скептически (так было, например, в случае съезда 1928 г., протекавшего на специально зафрахтованном волжском пароходе; его заседания проводились в больших приволжских городах), а после своей реализации вызывали всеобщее восхищение и одобрение.

Вскоре после первой мировой войны А. Ф. был избран членом-корреспондентом Берлинской и Геттингенской академий наук,* а также Львовской академии наук; после своего визита в Америку в 1927 г. он был избран почетным членом Американской академии наук и почетным доктором (*honoris causa*) Калифорнийского университета. В последние годы (уже после войны) он получил аналогичные звания от Парижского университета (Сорбонны), Бухарестского университета, а также звание почетного члена

* [А. Ф. Иоффе вышел из них с приходом к власти фашистов].

Английского физического общества. С 1924 г. принимал участие в ежегодных съездах Сольвейского конгресса (в Брюсселе), причем с 1930 по 1948 г. был членом Сольвейского комитета (организующего эти съезды).

[За период 1948—1960 гг. А. Ф. Иоффе неоднократно удостоивался звания почетного доктора различных университетов мира, был избран почетным членом Китайского и Французского физических обществ и Академий наук Индии, ГДР и Италии].

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, возникших из ЛФТИ при помощи его бывших сотрудников.*

И если многие идеи А. Ф. уже реализованы, то другие еще ждут своей реализации в будущем — на благо нашего социалистического отечества.

С. Аренин

5 II 48

* [А. Ф. Иоффе скончался в Ленинграде 14 ноября 1960 г., не дожив 2 недель до своего восьмидесятилетия, которое его многочисленные ученики собирались торжественно отметить. В 1961 г. ему посмертно была присуждена Ленинская премия за теоретические и экспериментальные исследования свойств полупроводников и разработку теории термоэлектрических генераторов].

Я. И. Френкель

АБРАМ ФЕДОРОВИЧ ИОФФЕ

Утверждено к печати Физико-техническим институтом
им. А. Ф. Иоффе АН СССР

Слано в набор 20/IX 1968 г. Подписано к печати 30/X 1968 г. Формат бумаги $84 \times 108^{1/2}$. Бум. л. $1/2$. Печ. л. $7/8 + 2$ вкл. ($1/8$) = 1.68 усл. печ. л. Уч.-изд. л. 1.29. Изд. № 4096. Тип. зам. № 1327. М-40203. Тираж 5000.
Цена 2 коп.

Ленинградское отделение издательства «Наука»
Ленинград, В-164, Менделеевская лин., д. 1

1-я тип. издательства «Наука», Ленинград, В-34, 9 линия, д. 12

Я. И. Френкель

АБРАМ ФЕДОРОВИЧ ИОФФЕ

Утверждено к печати Физико-техническим институтом
им. А. Ф. Иоффе АН СССР

Слано в набор 20/IX 1968 г. Подписано к печати 30/X 1968 г. Формат бумаги $84 \times 108^{1/2}$. Бум. л. $1/2$. Печ. л. $7/8 + 2$ вкл. ($1/8$) = 1.68 усл. печ. л. Уч.-изд. л. 1.29. Изд. № 4096. Тип. зам. № 1327. М-40203. Тираж 5000.
Цена 2 коп.

Ленинградское отделение издательства «Наука»
Ленинград, В-164, Менделеевская лин., д. 1

1-я тип. издательства «Наука», Ленинград, В-34, 9 линия, д. 12