АВТОБИОГРАФИЯ[1)]

Жизнь проносится удивительно быстро. Кажется, совсем недавно я отмечал юбилеи видных физиков, своих учителей, казавшихся мне весьма пожилыми людьми, а сегодня уже я сам недавно отметил свое семидесятилетие.

Мои родители, Иван Карпович и Анна Владимировна, родились и выросли в Белоруссии. Отец восемнадцатилетним юношей в 1912 г. приехал в Санкт-Петербург и работал грузчиком в порту, разнорабочим на конвертной фабрике и наконец начал настоящую рабочую карьеру на заводе «Лесснер» (впоследствии завод им. Карла Маркса).

В первую мировую войну он — храбрый гусар, унтер-офицер лейб-гвардии, Георгиевский кавалер. В сентябре 1917 г. отец вступил в партию большевиков и сохранил преданность идеям социализма и коммунизма до конца жизни.

В детстве с замиранием сердца старший брат и я слушали его рассказы о гражданской войне и его военной карьере. Мы узнали, как вчерашний унтер-офицер стал командиром кавалерийского полка Красной армии. Отец также рассказывал нам о своих встречах с революционными лидерами: В. И. Лениным, Л. Д. Троцким, Б. Е. Думенко, «товарищем Андреем» (А. Сольцем),

---

[1)] Перевод с англ. Е. Литвиновича.

в квартире которого в «Доме на набережной» мы всегда останавливались, приезжая в Москву. После окончания отцом Промакадемии в 1935 г. судьба бросала нас по всей стране: Сталинград, Новосибирск, Барнаул, Сясьстрой под Ленинградом, Туринск Свердловской области, где мы прожили военные годы, и наконец лежащий в руинах после войны Минск. Папа был назначен директором завода, комбината, позже начальником треста. Мама возглавляла Совет женобщественниц, работала в библиотеке и всегда была для нас самым мудрым воспитателем и самым близким другом. То, что мы с братом были «директорскими детьми», означало прежде всего, что нужно быть примером в школе и в общественной жизни.

Мне было легко учиться, и у меня всегда был надежный защитник — старший брат Маркс, сделавший мое существование безоблачным как в школе, так и на улице. Он закончил школу в Сясьстрое 21 июня 1941 г. (на следующий день началось вторжение фашистов), и несколько дней спустя мы уехали на Урал, в город Туринск, куда папа был незадолго до этого назначен директором только что построенного завода пороховой целлюлозы (Завода № 3, как он именовался тогда). Старший брат, ему было тогда 17 лет, поступил в Уральский индустриальный институт на энергетический факультет. Юноша считал, что будущее за энергетикой. Но проучился он недолго, поскольку решил, что его долг — идти на фронт защищать Родину от фашистов.

Он прошел Сталинград, Харьков, Курскую дугу. Оправившись от тяжелого ранения в голову, попал снова на фронт. Это был «второй Сталинград», как называли тогда Корсунь-Шевченковское сражение, где и погиб в бою в свои 20 лет гвардии младший лейтенант

Маркс Иванович Алфёров, мой старший брат, навсегда оставшийся для меня двадцатилетним.

В октябре 1943 г. Маркс провел с нами в Свердловске три дня, когда после госпиталя снова ехал на фронт. Часто, оглядываясь назад, я вспоминаю эти три дня, его фронтовые рассказы, его страстную юношескую веру в силу науки и инженерной мысли.

В послевоенном разрушенном Минске я учился в единственной в то время русской мужской средней школе № 42, где был замечательный учитель физики — Яков Борисович Мельцерзон. Он читал нам лекции по физике, на которых мы, вообще довольно «хулиганистый» класс, никогда не шалили и слушали его внимательно, потому что Яков Борисович, влюбленный в физику, умел передать это отношение к своему предмету нам. Пораженный его рассказом о работе катодного осциллографа и принципах радиолокации, я по его совету после окончания школы поехал учиться в Ленинград, в Электротехнический институт им. В. И. Ульянова-Ленина (сокращенно ЛЭТИ).

Здесь, в институте, внесшем значительный вклад в развитие отечественной электроники и радиотехники и в образование в этих областях, мне очень повезло с моим первым научным руководителем. Теоретические дисциплины давались мне очень легко, и поэтому меня привлекала «работа руками». На третьем курсе я пошел работать в Вакуумную лабораторию. Там я начал экспериментальную работу под руководством Наталии Николаевны Созиной, которая исследовала полупроводниковые фотодетекторы. Так в 1950 г., полвека тому назад, полупроводники стали главным делом моей жизни. Написанная во время блокады Ленинграда книга Ф. Ф. Волькенштейна *Электропроводность полупроводников* стала моим учебником по физике полупровод-

ников. Моя дипломная работа была посвящена получению пленок и исследованию фотопроводимости теллурида висмута.

В декабре 1952 г. я окончил институт, и мой руководитель Наталия Николаевна очень хотела, чтобы я остался на кафедре в ЛЭТИ для совместной работы. Но я мечтал о работе в Физтехе, институте Абрама Федоровича Иоффе, монография которого *Основные представления современной физики* стала для меня настольной книгой. К счастью, в ЛЭТИ на наш факультет пришли три заявки из Института Иоффе, и одна из них досталась мне. Радости моей не было границ. И я думаю, что моя счастливая жизнь в науке была предопределена этим удачным распределением.

В письме родителям, жившим тогда в Минске, я писал о выпавшем мне огромном счастье работать в Институте Иоффе. Я тогда еще не знал, что академик Иоффе был освобожден от обязанностей директора и ушел из созданного им института, где он проработал директором более 30.

Я вспоминаю свой первый день в Физико-техническом институте, 30 января 1953 г., представление моему новому научному руководителю, Владимиру Максимовичу Тучкевичу, в то время заведующему сектором. Наш небольшой коллектив решал очень важную задачу: создание первых отечественных германиевых диодов и триодов (транзисторов) с p–n-переходами.

Физтех в 1953 г. был по нынешним временам небольшим институтом, я получил пропуск № 429, и это означало, что в тот момент численность всех сотрудников Института не превышала эту величину. Большинство знаменитых физтеховцев уехало в Москву к И. В. Курчатову и в другие вновь создаваемые «атомные» центры. Полупроводниковая «элита» ушла вместе с А. Ф. Иоффе

в недавно организованную Лабораторию полупроводников при Президиуме АН СССР. В Физтехе из старшего поколения «полупроводниковцев» остались Д. Н. Наследов, Б. Т. Коломиец и В. М. Тучкевич.

Новый директор Физтеха после А. Ф. Иоффе, академик А. П. Комар, далеко не лучшим образом вел себя по отношению к своему предшественнику, но в возрождении и развитии института избрал вполне разумную стратегию. Основное внимание дирекция уделяла поддержке работ по созданию качественно новой полупроводниковой электроники, космических исследований (газодинамика больших скоростей и высокотемпературные покрытия), разработке методов разделения легких изотопов для водородного оружия под руководством Б. П. Константинова.

Развивались и фундаментальные исследования как теоретического, так и экспериментального характера: именно в это время был экспериментально открыт экситон (Е. Ф. Гросс), созданы основы кинетической теории прочности (С. Н. Журков), начаты пионерские работы по физике атомных столкновений (В. М. Дукельский, Н. В. Федоренко).

Дирекция (А. П. Комар и Д. Н. Наследов) прекрасно понимала важность привлечения молодежи в науку, и каждый приходящий на работу в ЛФТИ молодой специалист проходил обязательное собеседование в дирекции. Именно таким образом были приняты на работу в Физтех многие известные российские ученые, среди которых были нынешние члены Академии наук Б. П. Захарченя, А. А. Каплянский, Е. П. Мазец, В. В. Афросимов и другие.

Как одно из самых ярких событий в жизни, я вспоминаю свое первое участие в полупроводниковом семинаре в Физтехе в феврале 1953 г. Это был блестящий доклад

Е. Ф. Гросса об открытии экситона. Ощущение, которое я испытал тогда, трудно с чем-либо сравнить. Я был потрясен докладом о рождении открытия в той области науки, в которой я делал свои первые шаги.

Однако главным делом была ежедневная работа в лаборатории. Как реликвию я храню лабораторный журнал того времени с моими записями о создании первого советского транзистора с p–n-переходом 5 марта 1953 г. Я и сейчас, вспоминая те дни, горжусь тем, что мы сделали. Мы — это группа очень молодых людей, которая под руководством В. М. Тучкевича преуспела в разработке основ технологии и метрики транзисторной электроники. Вот имена исследователей, которые работали в нашей небольшой лаборатории: А. А. Лебедев, выпускник Ленинградского государственного университета — выращивание и легирование совершенных монокристаллов германия, Ж. И. Алфёров — получение транзисторов с параметрами на уровне лучших мировых образцов, А. И. Уваров и С. М. Рыбкин — создание прецизионной метрики монокристаллов германия и транзисторов, Н. С. Яковчук, выпускник радиотехнического факультета ЛЭТИ — разработка схем на транзисторах.

Уже в мае 1953 г. первые советские транзисторные приемники демонстрировались «высокому начальству». В этой работе, которой мы отдавались со всей страстью молодости и сознанием высочайшей ответственности перед страной, очень быстро и эффективно шло мое формирование как ученого. Я начал понимать значение технологии не только для создания новых электронных приборов, но также и для фундаментальных исследований; роль и значение «мелких», на первый взгляд, деталей в эксперименте. И именно с тех времен я предпочитаю анализировать эксперимент, исходя из «простых»

общих законов прежде, чем выдвигать высоконаучные объяснения.

В последующие годы наш небольшой коллектив заметно расширился, и в очень короткое время уже в лаборатории В. М. Тучкевича были созданы первые советские германиевые силовые выпрямители — германиевые фотодиоды и кремниевые солнечные батареи; было также исследовано поведение примесей в германии и кремнии.

В мае 1958 г. Анатолий Петрович Александров (впоследствии Президент АН СССР) обратился к нам с просьбой выполнить работу по созданию специального полупроводникового устройства для первой советской атомной подводной лодки. Для решения этой задачи нужно было разработать принципиально новую технологию и конструкцию германиевых вентилей, что и было сделано в рекордно короткие сроки. В октябре устройства уже стояли на лодке. Помню, как мне, младшему научному сотруднику, звонил первый заместитель Председателя Правительства СССР Дмитрий Федорович Устинов и просил ускорить на две недели создание устройств. Пришлось поселиться на два месяца прямо в лаборатории, но задание, конечно, было выполнено. Для меня и сегодня полученный в 1959 г. мой первый орден за эту работу — одна из самых ценных наград.

В 1961 г. я защитил кандидатскую диссертацию, посвященную в основном разработке и исследованию мощных германиевых и частично кремниевых выпрямителей. На основе этих работ возникла отечественная силовая полупроводниковая электроника. С научной, чисто физической точки зрения для меня был очень важным полученный мной вывод, что в p–i–n-, p–n–n^+-полупроводниковых гомоструктурах при рабочих плотностях тока (для большинства полупроводниковых приборов), ток

в пропускном направлении определяется рекомбинацией в сильно легированных p- и n(n^+)-областях структур, тогда как вклад рекомбинации в средней i(n)-области гомоструктуры не является определяющим. Поэтому при появлении первой работы по полупроводниковым лазерам для меня было естественным рассмотрение преимуществ использования в лазерах двойной гетероструктуры типа p–i–n (p–n–n^+, n–p–p^+). Эта идея была нами сформулирована сразу же после появления первой работы Р. Холла с сотрудниками, описывающей полупроводниковый лазер на основе гомо-p–n-структуры в арсениде галлия.

Реализация главных преимуществ гетероструктур оказалась возможной только после получения гетероструктур $Al_xGa_{1-x}As$. В этой работе мы всего лишь на один месяц опередили американских исследователей из IBM.

Если в начале наших исследований гетероструктур мне не раз приходилось убеждать моих молодых коллег, что мы далеко не единственные в мире, кто считает, что полупроводниковые физика и электроника будут развиваться на основе ГЕТЕРО-, а не ГОМО-структур, то с 1968 г. реально началось очень жесткое соревнование, прежде всего с тремя лабораториями крупнейших американских фирм: Bell Telephone, IBM и RCA.

В 1967 г. во время короткой научной командировки в Англию я посетил лаборатории STL в Харлоу, которые были великолепно оборудованы по тем временам и в которых имелась прекрасная экспериментальная база, но с английскими коллегами можно было обсуждать лишь теоретические аспекты физики гетероструктур, поскольку они тогда считали экспериментальные исследования неперспективными. Поэтому я потратил некоторое время на лондонские достопримечательности, в том

числе и магазины. Я купил свадебные подарки моей невесте, Тамаре Дарской. Сразу по возвращении из Англии мы отпраздновали свадьбу в роскошном ресторане «Крыша» в гостинице «Европейская».

Тамара, дочь замечательного актера Георгия Дарского из Воронежского театра музыкальной комедии, работала в то время под Москвой, в космической фирме академика В. П. Глушко. Она удивительным образом сочетала несравненную красоту с глубоким умом и душевностью по отношению к своим друзьям. Это было время моих еженедельных полетов в Москву. Я мог себе это позволить, будучи старшим научным сотрудником Физтеха — билет на летавший ежечасно ТУ-104 стоил 11 рублей (около 15 долларов). Тем не менее после полугода таких «челночных» полетов мы решили, что все-таки лучше Тамаре переехать в Ленинград.

В 1968–1969 гг. были практически реализованы все основные идеи управления электронными и световыми потоками в классических гетероструктурах на основе системы арсенид галлия–арсенид алюминия. Мы получили принципиально важные фундаментальные результаты, такие как односторонняя эффективная инжекция, эффект «сверхинжекции», диагональное туннелирование, электронное и оптическое ограничения в двойной гетероструктуре, ставшей вскоре основным элементом исследований низкоразмерного электронного газа в полупроводниках; нам удалось реализовать основные преимущества использования гетероструктур в полупроводниковых приборах: лазерах, светодиодах, солнечных батареях, динисторах и транзисторах. Самым значительным было, конечно, создание низкопороговых, работающих при комнатной температуре лазеров на двойной гетероструктуре (ДГС), предложенной нами еще в 1963 г. Подход, который предложили М. Б. Паниш

(M. B. Panish) и И. Хаяши (I. Hayashi) из Bell Telephone, а также Г. Кressель (H. Kressel) из RCA, отличался от нашего в том отношении, что он был основан на использовании в лазерах одиночной гетероструктуры p-AlGaAs–p-GaAs, и это накладывало определенные ограничения. Очевидно, они не верили в возможность получения эффективной инжекции в гетеропереходах, хотя потенциальные преимущества ДГС были им известны.

В августе 1969 г., во время моей первой поездки в США на Международную конференцию по люминесценции в Ньюарке, штат Делавэр, мой доклад, в котором приводились параметры низкопороговых, работающих при комнатной температуре лазеров на основе AlGaAs-ДГС, произвел на американских коллег впечатление разорвавшейся бомбы. Профессор Я. Панков (Ya. Pankov) из RCA, незадолго до доклада сообщивший мне, что, к сожалению, для моего визита в их лабораторию у них нет разрешения, сразу после доклада сообщил, что оно получено, и компания ждет меня после конференции. Я не отказал себе в удовольствии ответить, что теперь у меня нет времени, поскольку IBM и Bell Telephone пригласили меня посетить их лаборатории еще до моего доклада, и у меня уже все распланировано.

Мой доклад на семинаре в Bell, осмотр лабораторий и дискуссии с американскими коллегами довольно четко показали мне наши достоинства и недочеты. Думаю, что наступившее вскоре соперничество за достижение первыми непрерывного режима работы лазеров при комнатной температуре было редким для того времени примером открытого соревнования лабораторий из двух антагонистических великих держав. Мы выиграли это соревнование, опередив на месяц группу М. Паниша

из Bell Telephone. Значение получения «непрерыва» было прежде всего связано с тем, что в это же время было создано оптическое волокно с малыми потерями, и создание наших ДГС-лазеров привело к рождению и бурному развитию волоконно-оптических систем связи.

В течение зимы 1970–1971 гг. и весны 1971 г. я провел шесть месяцев в США, работая в лаборатории полупроводниковых приборов Иллинойсского университета совместно с проф. Ником Холоньяком (Nick Holonyak). Мы впервые познакомились в 1967 г., когда он посетил мою лабораторию в Физтехе. Ник Холоньяк, который является одним из основателей полупроводниковой оптоэлектроники и изобретателем первых полупроводниковых лазеров видимого диапазона и светодиодов, стал моим близким другом. Вот уже 33 года мы обсуждаем все проблемы физики полупроводников и электроники, а также жизненные аспекты; наши контакты (визиты, письма, семинары, телефонные разговоры) сыграли очень важную роль в нашей работе и жизни.

В 1971 г. за работы по ДГС-лазерам мне была присуждена Золотая медаль Франклиновского института в США — моя первая международная награда, которая поэтому имеет для меня особую ценность. Франклиновский институт присуждал медали и другим советским ученым: в 1944 г. академику П. Л. Капице, в 1974 г. академику Н. Н. Боголюбову и в 1981 г. академику А. Д. Сахарову. Быть в такой компании — большая честь!

Система изопериодичных гетероструктур $Al_xGa_{1-x}As$, которая поначалу казалась счастливым исключением, получила неограниченное развитие на основе многокомпонентных твердых растворов, сперва теоретическое, а затем экспериментальное (самый яркий пример — InGaAsP).

Солнечные батареи на основе гетероструктур были созданы нами еще в 1970 г. И когда американцы публиковали свои первые работы, наши батареи уже летали на спутниках, и было развернуто их промышленное производство. Многолетняя эксплуатация наших батарей на орбитальной станции «Мир» блестяще доказала их преимущества в космосе. И хотя прогнозы резкого снижения стоимости электроэнергии, получаемой от полупроводниковых солнечных батарей, пока не оправдались, в космосе самым эффективным источником энергии, безусловно, являются солнечные батареи на гетероструктурах на основе соединений $A^{III}B^{V}$.

Присуждение в 1972 г. Ленинской премии (высшей научной награды в СССР) мне и моим ученикам-коллегам было для нас большой радостью, омраченной только тем, что в силу не зависящих от нас, сугубо формальных и малопонятных причин из списка представленных к награде выпали Р. Ф. Казаринов и Е. Л. Портной.

В день присуждения премии я был в Москве и позвонил домой, в Ленинград, чтобы сообщить об этом радостном событии, но телефон не отвечал. Я позвонил родителям (с 1963 г. они жили уже в Ленинграде) и, радостно сообщив отцу, что его сын — лауреат Ленинской премии, услышал в ответ: «Что твоя Ленинская премия! У нас сегодня внук родился!». 1972 год был счастливым для меня: в дополнение к престижной премии я был избран осенью в Академию наук, но самой большой радостью было, конечно, рождение Вани Алфёрова.

Исследования сверхрешеток и квантовых ям, бурно развивавшиеся на Западе, а затем и у нас, в короткое время привели к рождению новой области квантовой физики твердого тела — физики низкоразмерных электронных систем. Апогеем этих работ в настоящее время яв-

ляются исследования нуль-мерных структур – - «квантовых точек». Отрадно, что Институт Иоффе и сегодня— в столь трудное для российской науки время — остается мировым лидером в этой области. И работы уже второго и третьего поколений моих учеников — П. С. Копьева, Н. Н. Леденцова, В. М. Устинова, С. В. Иванова — получили широкое признание. Н. Н. Леденцов стал самым молодым членом-корреспондентом Российской академии наук.

В 1987 г. я был избран директором ФТИ, в 1989 г. — председателем президиума Ленинградского научного центра АН СССР, а в апреле 1990 г. — вице-президентом Академии наук СССР. Впоследствии на эти посты я был переизбран уже в Российской академии наук.

В первые годы моего президентства и директорства нам удалось значительно расширить возможности проведения исследований в нашей уникальной (для всего мира) Академии наук и развить систему эффективного сотрудничества с вузами и школой. Так, в те годы при Физтехе была открыта Физико-техническая школа и был продолжен процесс создания на базе Института специализированных учебных кафедр: первая кафедра такого рода - – кафедра оптоэлектроники — была создана в Электротехническом университете (бывший ЛЭТИ) еще в 1973 г. На основе уже существующей и вновь организованных базовых кафедр в Политехническом институте в 1988 г. был создан Физико-технический факультет.

Создание Научно-образовательного центра при Физтехе, объединяющего школьников, студентов и ученых в одном прекрасном здании, которое можно с полным правом назвать «Дворцом знаний», внесло значительный вклад в развитие вышеупомянутой системы образования.

И все-таки главным в эти годы было сохранение нашей Академии наук как высшей — и уникальной! — научной и образовательной структуры России. Ее хотели уничтожить в 20-е годы как «наследие царского режима». Ее хотели уничтожить в 90-е годы как «наследие тоталитарного советского режима». Для ее сохранения я согласился пойти депутатом в Государственную Думу в 1995 г. Президент РАН академик Ю. С. Осипов, ее вице-президенты, академики и члены-корреспонденты, доктора и кандидаты наук, старшие и младшие научные сотрудники, лаборанты и механики — все заняли твердую позицию в этой трудной ситуации. Ради сохранения Академии наук мы шли иногда на компромиссы с властью, но никогда — со своей совестью.

Все, что создало человечество, оно создало благодаря Науке. И если уж суждено нашей стране быть великой державой, то она ею будет не благодаря ядерному оружию, не благодаря вере в Бога или в президента, или в западные инвестиции, а благодаря труду ее народа, вере в знание, в науку, благодаря сохранению и развитию научного потенциала и образования.

Десятилетним мальчиком я прочитал замечательную книгу В. А. Каверина *Два капитана*. И всю последующую жизнь я следую принципу ее главного героя, Сани Григорьева: «Бороться и искать, найти и не сдаваться!».

Очень важно при этом понимать, за что ты борешься.