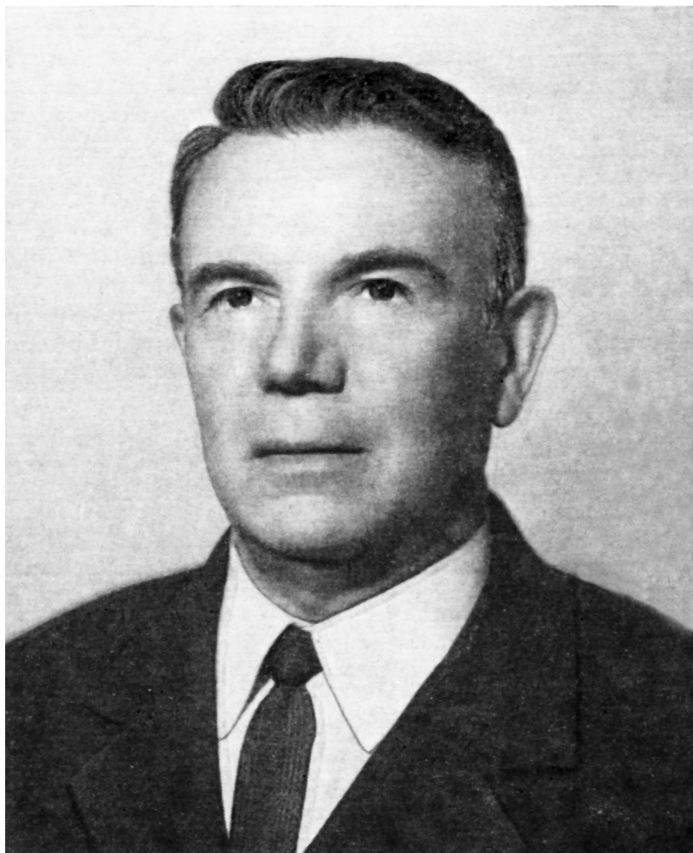


**ПАМЯТИ**  
**АНАТОЛИЯ РОБЕРТОВИЧА РЕГЕЛЯ**  
**(1915—1989)**

14 мая 1990 г. Анатолию Робертовичу Регелю исполнилось бы 75 лет. До этого дня он не дожил 4 месяцев и 18 дней.

А. Р. Регель родился в Петрограде в семье известного русского ботаника Роберта Эдуардовича Регеля. Окончив в 1938 г. Индустриальный институт (ныне Ленинградский политехнический институт им. М. И. Калинина), он начал



работать в Ленинградском физико-техническом институте. В начале Великой Отечественной войны он принимал активное участие в противоминной защите Военно-Морского флота, занимаясь размагничиванием кораблей Черноморского флота в группе под руководством И. В. Курчатова, и был награжден орденом Красной Звезды и медалью «За оборону Севастополя».

За работы по изучению свойств металлов при динамических воздействиях и ряд других исследований в области оборонной техники А. Р. Регелю в 1943 г. была присвоена ученая степень кандидата физико-математических наук. Продолжив научную деятельность в новой области физики электронных полупроводников, А. Р. Регель обнаружил полупроводниковые свойства ряда ин-

терметаллических соединений и открыл новый класс полупроводников — соединения  $A^{III}B^V$ , которые, как известно, играют весьма важную роль в современной физике и технике. Его докторская диссертация «Исследования по электронной проводимости жидкостей» (1957 г.) получила высокую оценку академика А. Ф. Иоффе. Мы публикуем далее отзыв А. Ф. Иоффе о докторской диссертации Анатолия Робертовича.

Выполненные А. Р. Регелем детальные исследования проводимости жидкостей показали, что характер электронной проводимости вещества не связан непосредственно, как это считалось ранее, с периодичностью кристаллической решетки, но зависит от расположения ближайших атомов. В результате А. Ф. Иоффе и А. Р. Регелю удалось сформулировать критерий, определяющий роль ближнего порядка в формировании электронных свойств полупроводника. Это соотношение между длиной свободного пробега электрона и периодом идентичности структуры известно теперь в мировой литературе как критерий Иоффе—Регеля.

Анатолий Робертович был одним из близких учеников академика А. Ф. Иоффе, который исключительно высоко оценивал его научные и организаторские способности и всячески поддерживал его на всех этапах деятельности. После смерти академика А. Ф. Иоффе в 1960 г. А. Р. Регель возглавил Институт полупроводников АН СССР. Интересно отметить, что А. Ф. Иоффе, несмотря на его неприятие смерти как явления природы, заранее подготовил все документы, необходимые для назначения Анатолия Робертовича на должность директора Института полупроводников, его кандидатура была согласована в Президиуме АН, в партийных органах, так что процесс назначения нового директора занял всего несколько дней.

Анатолий Робертович оставался директором ИП АН СССР вплоть до объединения в 1972 г. с Физико-техническим институтом АН СССР. До последнего времени он заведовал здесь лабораторией и отделом.

А. Р. Регель — выдающийся ученый в области физики твердого тела и физики полупроводников. Его исследования аморфных и жидких полупроводников пользуются широкой известностью в нашей стране и за рубежом. Всеобщее признание получила разработанная им классификация типов плавления полупроводников. За этот цикл исследований он был удостоен в 1973 г. премии им. А. Ф. Иоффе Президиума АН СССР. Выполненные А. Р. Регелем с соавторами исследования по химической термодинамике полупроводников были отмечены в 1981 г. Государственной премией СССР. За научные достижения он был награжден орденом Трудового Красного Знамени и медалями. Ему было присвоено почетное звание Заслуженного деятеля науки РСФСР.

Велики заслуги А. Р. Регеля и в области педагогической деятельности. Его ученики — доктора и кандидаты наук — трудятся во многих городах и республиках нашей страны, возглавляют крупные научные коллективы.

В течение ряда лет А. Р. Регель являлся председателем секции Совета по проблеме прямого преобразования тепловой энергии в электрическую и заместителем председателя Совета по физике и химии полупроводников при Президиуме АН СССР. С 1967 г. до своей кончины Анатолий Робертович был членом редколлегии нашего журнала.

Член партии с 1940 г. А. Р. Регель неоднократно избирался секретарем партбюро института и членом бюро райкома КПСС.

Заслуженный деятель науки РСФСР, лауреат Государственной премии СССР, доктор физико-математических наук, профессор Анатолий Робертович Регель скончался 27 декабря 1989 г. после продолжительной болезни. Мы похоронили его в субботу 30 декабря на Богословском кладбище в Ленинграде.

Вся жизнь Анатолия Робертовича Регеля была отдана служению науке. Светлая память о выдающемся ученом, патриоте, принципиальном, отзывчивом, глубоко порядочном, неизменно доброжелательном и очень добром человеке навсегда сохранится в наших сердцах.

*Редакционная коллегия*

Ленинград

## О Т З Ы В

о диссертации А. Р. Регеля «Исследования по электронной проводимости жидкостей», представленной для соискания степени доктора физико-математических наук.

Диссертация А. Р. Регеля является выдающимся событием в науке о полупроводниках и о твердом теле в целом. В ней впервые с полной убедительностью показано, что полупроводниковые свойства не связаны, как это принималось их теорией, с периодичностью кристаллической решетки. Исследования автора выявили решающую роль ближнего порядка и, в частности, значение координационного числа для определения металлических или полупроводниковых свойств вещества.

Этот принципиально важный результат получен автором в результате обширного исследования, охватившего различные типы полупроводников в широком интервале температур. Попутно им решены важные методические задачи, как, например, безэлектродный метод измерения электропроводности, определение температуры плавления по характеру колебательного движения и др.

Большое значение имеют полученные А. Р. Регелем обобщения для электрических свойств различных веществ непосредственно перед плавлением и в расплавленном состоянии.

Все результаты, касающиеся электронной проводимости жидких полупроводников, появляются впервые в научной литературе. Многообразие температурного хода в жидком состоянии дает неожиданно богатый материал для понимания процессов перехода из твердого в жидкое состояние.

Впервые исследованы системы твердых растворов. Все богатство новых фактов рассматривается автором диссертации с единой точки зрения, учитывающей как характер связей, так и положение элементов соединений в Периодической системе Менделеева.

Новизна и обширность полученных результатов, умение автора найти им правильное объяснение и включить их в закономерную общую картину делают рассматриваемую диссертацию крупным вкладом в современное учение о веществе в различных его состояниях.

Все вышеизложенное не оставляет сомнения в том, что автору диссертации Анатолию Робертовичу Регелю должна быть присуждена степень доктора физико-математических наук, даже если бы не существовало других научных работ А. Р. Регеля, которые только усугубляют этот вывод.

*Академик А. Иоффе*

Ленинград, 16 августа 1956 г.

Журнал «Физика и техника полупроводников» своеобразно откликается на скорбное событие — кончину Анатолия Робертовича Регеля. Решение поместить на страницах ФТП несколько коротких заметок коллег и сотрудников Анатолия Робертовича определяется, мне кажется, помимо той роли, которую играл А. Р. Регель в жизни журнала, и его вклада в физику, еще, как минимум, двумя обстоятельствами: нестандартностью научного и духовного облика Анатолия Робертовича, а также живучестью представлений о «табели о рангах» в нашей Академии, которая разрешает издавать сборники воспоминаний о выдающихся ученых только в том случае, если они, эти ученые, были увенчаны

академическими званиями. Однако если судить непредвзято, по гамбургскому счету, полученных А. Р. Регелем фундаментальных результатов в физике полупроводников (электронные свойства жидких полупроводников, соединения  $A^{III}B^V$ ) более чем достаточно не только для того, чтобы отнести его к числу членов Академии (к ее чести), но и для того, чтобы его имя осталось в истории физики XX века.

Однако дело не только в этом. Эйнштейн в статье, посвященной памяти Марии Кюри, писал: «Моральные качества выдающейся личности имеют, возможно, большее значение для данного поколения, чем чисто интеллектуальные достижения». Это соображение может быть распространено на людей того высокого научного потенциала, к числу которых относится Анатолий Робертович. Для всех общавшихся с ним систематически — ежедневно в стенах его лаборатории и ФТИ или спорадически — на конференциях, заседаниях советов он всегда служил достойным подражания и трудно достижимым нравственным примером. Его внешний облик — красивое, благородное лицо, его спокойные, ровные манеры гармонировали с душевными качествами — отзывчивостью и добротой. У нас сейчас часто вспоминают Достоевского: «Красота спасет мир». С не меньшим основанием можно утверждать, что такую глобальную миссию выполнит доброта — эта красота души. Анатолий Робертович был добрым человеком, всегда стремившимся увидеть в людях хорошее, поддержать это хорошее и отгеснить, свести на нет ту накипь, которая в силу тех или иных причин образуется в людях, озлобляет их.

Если бы перед кем-нибудь была поставлена задача создать историю отечественной физики в фотографиях, то в такой книге достойное место заняли бы две фотографии. На одной из них, относящейся к концу 30-х годов, Анатолий Робертович запечатлен со своим учителем Абрамом Федоровичем Иоффе (рядом с ним молодые физтеховцы — Ю. А. Дунаев, Э. Я. Зандберг, Н. И. Шишкин). Другая фотография относится к суровому военному времени: Анатолий Робертович и Юрий Семенович Лазуркин в морских бушлатах и ушанках, снятые в осажденном Севастополе вместе с И. В. Курчатовым. Не случайно, а закономерно, что А. Р. Регель был сотрудником двух крупнейших советских физиков, и многие его выдающиеся качества, унаследованные от представителей знаменитого в Петербурге (Петрограде) семейства Регелей, укрепились в результате общения с Иоффе, Курчатовым и плеядой физиков, у которых Регель учился на Физико-механическом факультете Политехнического института и с которыми более полувека работал в стенах ФТИ.

В последние годы обстоятельства сложились так, что я несколько раз бывал вместе с Анатолием Робертовичем в довольно длительных командировках. И, хотя знал его еще с времен войны, в период совместных поездок в еще большей степени укрепился в чувстве глубокого к нему уважения. Одной из отличительных черт его характера была своеобразная инвариантность. Он всегда оставался самим собой, с кем бы ему ни приходилось иметь дело: доброжелательный, вежливый, без малейшей тени покровительства по отношению к людям, расположенным на более низкой социальной ступени, или же без какого-либо «придыхания» и гипертрофированной почтительности, если речь шла о ком-то, находящемся на самых верхних ступенях этой лестницы.

Много хорошего приходилось слышать об Анатолии Робертовиче, в частности о его исключительной скромности. Академик Ж. И. Алфёров часто вспоминал о том, как несколько лет тому назад проходило выдвижение работ А. Р. Регеля (и Н. А. Горюновой) на Ленинскую премию. Практически всегда в этом случае имеет место «инициатива снизу». На этот раз все было наоборот. Ж. И. Алфёров пригласил к себе А. Р. Регеля и поставил его в известность о намерении Ученого совета ФТИ выдвинуть его кандидатуру на премию. Приходится только пожалеть о том, что эта «инициатива сверху» не была поддержана Комитетом по Ленинским премиям!

Есть самый лучший рецепт воспитания детей — не нравочениями, а личным примером. Этот же принцип справедлив и в отношении вполне взрослых людей. Если более или менее сложившегося человека и можно изменить к лучшему, то только высоким нравственным примером. Таким примером для всех нас и был Анатолий Робертович. Даже мимолетная встреча с ним, короткий раз-

говор могли дать правильный ориентир в подчас непростой жизненной ситуации и уж всегда — улучшить настроение, зарядить бодростью. Стандартная фраза о том, что ушедший из жизни человек навсегда остается в сердцах его знавших, в случае Анатолия Робертовича Регеля наполняется первозданным смыслом.

*В. Я. Френкель*

На похоронах Анатолия Робертовича выступавшие на траурном митинге, а затем на поминках сказали о нем много добрых слов: о том, каким он был добрым и отзывчивым человеком, истинным интеллигентом, каким был хорошим руководителем, справедливым и в то же время требовательным, какой большой вклад внес в науку о полупроводниках.

Для меня он был лучшим примером для подражания и, конечно же, наряду с мамой (Елизаветой Андреевной Гончаренко-Литвиновой) и отчимом (Николаем Ивановичем Литвиновым) сыграл решающую роль в моем воспитании.

Мы были очень дружны и любили друг друга, никогда не ссорились серьезно. Он огорчался моим неудачам и радовался успехам.

Ограничусь здесь короткими воспоминаниями, связанными с нашими детскими и студенческими годами.

Отец наш, Роберт Эдуардович Регель, умер рано, в 1920 г., когда Толе было 5 лет, а мне — 3 года. С 1919 г. нас отправили в деревню Руднихино Псковской области, так как в Петрограде было голодно. В 1922 г. мы возвратились из деревни в деревянный двухэтажный дом на Старо-Парголовском проспекте, 47 (ныне проспект Тореза). К тому времени мать вышла замуж за Николая Ивановича Литвинова, который полюбил нас как своих детей. Мы его тоже полюбили и стали называть «папой». Он был разбит параличом и не мог самостоятельно передвигаться, но это не мешало ему следить за нашим воспитанием.

Существовала наша семья на небольшую пенсию отчима, а также на те скромные средства, которые мама зарабатывала, перепечатывая что-то на машинке. Бабушка, Софья Петровна Гончаренко (Редкина), была учительницей музыки (в свое время она окончила консерваторию) и тоже немного подрабатывала уроками музыки и иностранных языков (она их знала пять).

Некоторое время в доме был рояль, взятый на прокат в Музтресте. Бабушка играла нам Чайковского, Шопена, Бетховена, Моцарта. Мы любили ее слушать, сидя у рояля, но почему-то не учились у бабушки ни музыке, ни языкам. После ее смерти мы начали ходить в группу, которую вела жившая в нашем доме учительница немецкого языка Ада Михайловна Фогель. Здесь занимались дети профессоров Политехнического и Физико-технического институтов. Мы читали немецких классиков, учили стихи Шиллера и Гёте, играли пьесы Шиллера на немецком языке. Не знаю, как мама расплачивалась за нас. Знаний немецкого языка, полученных нами в группе Ады Михайловны, было достаточно для того, чтобы с успехом сдать экзамен по немецкому в институт. Уже перед окончанием Политехнического института мы с Толей начали заниматься английским у учителя, тоже жившего в нашем доме (преподавателя Военно-Морской академии). Здесь мы уже сами платили за уроки, зарабатывая репетиторством (преподаванием физики и математики).

Толя после окончания 7-го класса пошел в ФЗУ, где научился слесарному мастерству, любил и умел работать на токарном и фрезерном станках, что ему пригодилось впоследствии при работе в лабораториях Физико-технического института. Я тоже после 7-го класса пошел в ФЗУ и, проработав, как и Толя, после ФЗУ на опытном заводе Физико-технического института, поступил в Политехнический институт. Иначе говоря, Толя действительно «прокладывал» мне путь, по которому я, не задумываясь, следовал, пользуясь его опытом и советами.

Несколько слов о нашей учебе.

В наше время в школе любили проводить реформы. Так, отметок стало только две: «удовлетворительно» и «неудовлетворительно». В школьных аттестатах все отметки у нас с Толей были «удовлетворительно».

В институте в связи со «стахановским движением» возникло «движение отличников». Мы с Толей старательно учились и попали в категорию «отличников», которым платили повышенную стипендию, что для нас было важно, так как каждая копейка была необходима семье.

Счастливые детские и студенческие годы, когда мы с братом почти все время проводили вместе, оставили самые добрые впечатления. В последующие годы семейная жизнь и работа не позволяли нам общаться так же часто, как раньше. Однако Толя оставался для меня всегда авторитетом и самым лучшим другом. Он живо интересовался всеми моими делами — и жизненными, и научными. Не раз я обращался к нему за советами и обсуждал проблемы физики прочности и пластичности, в которых он также не был дилетантом: во время войны он занимался вопросами прочности брони, а после войны — проблемами прочности и деформирования полупроводников, дислокациями, точечными дефектами в них.

Интересные беседы проходили у нас с Толей в Казани по проблемам размагничивания кораблей во время Великой Отечественной войны. К разработкам этой проблемы Толя подключился сначала в Севастополе под руководством И. В. Курчатова, а потом на Дальнем Востоке, где они работали вместе с М. М. Бредовым.

По отзывам А. П. Александрова, руководившего всеми работами по размагничиванию кораблей, Толин вклад в это дело был весьма значительным. Анатолий Петрович просил меня это отметить, узнав о том, что есть возможность написать краткие воспоминания о моем брате. Подробнее и конкретнее о Толином участии в этих важных работах можно прочесть в книге Б. А. Ткаченко «История размагничивания кораблей Советского Военно-Морского флота» (Ленинград, «Наука», 1981 г.) и в книге В. Д. Панченко «Размагничивание кораблей Черноморского флота», которая должна выйти в свет в 1990 г.

О заслугах Толи в развитии физики полупроводников не мне здесь говорить. Все-таки именно этой основной научной проблеме были посвящены труды моего брата, любимого ученика А. Ф. Иоффе — основателя науки о полупроводниках.

*В. Р. Регель*

С Анатолием Робертовичем Регелем впервые я встретился летом 1944 г. в Казани. С этого времени началось наше знакомство, перешедшее вскоре в дружбу. После возвращения Физико-технического института АН СССР в начале 1945 г. в Ленинград Анатолий Робертович стал сотрудником моей лаборатории и начал работу по изучению электрических и некоторых других свойств интерметаллических соединений и полупроводников со структурой алмаза и цинковой обманки. В качестве объекта своих первых исследований Анатолий Робертович, исходя из общих соображений, развитых Н. А. Горюновой, остановил свой выбор на моноселениде и монотеллуриде ртути, кристаллизующихся в структуре цинковой обманки. Работа эта привела к открытию рекордно высокой подвижности носителей тока в этих соединениях, достигающей  $1 \cdot 10^6$  см<sup>2</sup>/В·с. Впоследствии оказалось, что HgSe и HgTe принадлежат к новому, очень интересному классу веществ — бесщелевым полупроводникам, широко изучаемым в последнее время.

Уже в этих первых работах Анатолий Робертович проявил себя как опытный физик, хорошо эрудированный и владеющий разнообразными методиками физического эксперимента.

Одновременно Анатолий Робертович с небольшой группой своих сотрудников (А. И. Блум, Н. П. Мокровский, О. Д. Елпатьевская) начал цикл исследований по изучению физических свойств расплавов металлов и полупроводников. Эта область физики стала основным объектом его научных интересов до конца жизни.

Интерес к этой проблеме у Анатолия Робертовича был стимулирован высказанной академиком А. Ф. Иоффе в 1947 г. мыслью о том, что принципиальной разницы в условиях образования свободных электронов в твердом и жидком

состояниях нет, т. е. что наличие дальнего порядка не играет существенной роли в том процессе. Иначе говоря, условия образования свободных носителей тока в твердых и жидких телах определяются ближним порядком, а именно природой химической связи, координационным числом и величиной межатомных расстояний.

Для экспериментальной проверки этой идеи Анатолий Робертович разработал несколько очень удобных методик, позволивших в широком температурном интервале проводить измерения электропроводности, плотности и температурного коэффициента расширения. Для измерения электропроводности в жидком состоянии был использован метод вращающегося магнитного поля, теорию которого Анатолий Робертович уточнил и развил.

В 1956 г. Анатолий Робертович успешно защитил докторскую диссертацию на тему «Исследования по электронной проводимости жидкостей». В диссертации он суммировал полученные им многочисленные результаты о поведении металлов и полупроводников при плавлении и однозначно подтвердил правильность исходной идеи.

После смерти академика А. Ф. Иоффе в 1960 г. Анатолий Робертович возглавил Институт полупроводников АН СССР и был его директором до слияния института с ФТИ АН СССР в 1972 г. Относясь чрезвычайно ответственно к порученному делу, он отдавал много сил и времени руководству институтом. Однако он сохранил глубокий интерес к проблеме электронных расплавов и продолжал активно работать в этом направлении. Вскоре вышли из печати в Издательстве АН СССР одна за другой обширные монографии Анатолия Робертовича, написанные им в соавторстве с профессором В. М. Глазовым: «Периодический закон и физические свойства электронных расплавов» (1978 г.), «Физические свойства электронных расплавов» (1980 г.), «Закономерности формирования структуры электронных расплавов» (1982 г.). В них дана развернутая картина современного состояния проблемы.

В области физики электронных расплавов и других неупорядоченных систем Анатолий Робертович был инициатором и общепризнанным авторитетом как у нас в Союзе, так и за рубежом.

Анатолий Робертович Регель был добрым и жизнерадостным человеком. Его отличали глубокая человечность, непосредственность и чувство юмора. Он очень любил длинные прогулки в лесу, с большой охотой собирал грибы, совершал большие байдарочные походы и внимательно следил за литературными новинками.

Для всех, кто работал или просто общался с Анатолием Робертовичем, он останется образцом человека больших и разносторонних знаний и интересов, высокой культуры, мужества и подлинной интеллигентности.

*В. П. Жузе*

С именем Анатолия Робертовича Регеля обычно связывают ставшие классическими исследования в области полупроводников с неупорядоченной структурой. Однако Анатолий Робертович также глубоко осознавал, что результаты научных исследований даже в глубинных областях физики полупроводников в конечном итоге должны быть воплощены в новых материалах, приборах и технологиях. В 1956 г. А. Ф. Иоффе при непосредственном участии своего заместителя Анатолия Робертовича создал в Институте полупроводников АН СССР лабораторию технических применений полупроводников. Первой и основной задачей, поставленной перед лабораторией, была разработка на основе созданных в институте высокоэффективных термоэлектрических материалов охлаждающих приборов и устройств. Одновременно с этим должна была быть разработана технология, позволяющая изготавливать приборы в промышленных условиях. С момента организации и в течение 17 лет Анатолий Робертович сначала как заместитель, а с 1960 г. как директор Института полупроводников оказывал лаборатории всемерную поддержку. Результаты не заставили себя долго ждать. Было разработано и изготовлено в виде мелких партий свыше 100 раз-

личных приборов и устройств, получивших широкое признание как в Союзе, так и за рубежом. Мировой и отечественный приоритет работ, проведенных в ИП АН СССР, в области термоэлектричества защищен 79 патентами в США, Великобритании, Франции, ФРГ, Канаде и других странах. Большое внимание Анатолий Робертович уделял популяризации термоэлектрических приборов как у нас, так и за рубежом. Созданные в ИП АН СССР приборы экспонировались на международных выставках в Брюсселе, Нью-Йорке, Монреале и Осаке. В 1967 г. на Международной Лейпцигской ярмарке термоэлектрический криоэкстрактор катаракты был награжден Большой золотой медалью и Дипломом I степени. На ВДНХ СССР экспонируемые термоэлектрические приборы были награждены пятью золотыми, двенадцатью серебряными и тремя бронзовыми медалями. В течение многих лет осуществляется промышленный выпуск термоэлектрических охлаждающих приборов. В становлении на всех этапах новой области техники — термоэлектрического приборостроения большая заслуга Анатолия Робертовича, и пусть это надолго будет достойным ему памятником.

*Е. А. Коленко*

Абрам Федорович Иоффе не готовил себе замену как директору института. Поэтому Анатолию Робертовичу сначала, я думаю, было трудно. Он был моложе многих завлабов, работал когда-то под их руководством, и некоторые из них продолжали публично его учить, когда он уже стал директором. Были и такие, которые через своих друзей в Москве пытались вмешиваться в работу института. Анатолий Робертович все это знал, но ни разу не позволил себе использовать свою огромную директорскую власть, чтобы хоть как-то «прижать» своих недоброжелателей. Не только до мести он никогда не опускался, но даже не пользовался своим правом на необходимую самооборону.

По своим человеческим качествам — доброте, отзывчивости, готовности поступать с врагами по-христиански — Анатолий Робертович был удивительным, можно сказать, святым человеком.

В 1970 г. я заболел и передвигался после операции с палочкой. Жил недалеко от Анатолия Робертовича. И как-то незаметно так получилось, что он после работы отвозил меня на служебной машине домой и предлагал утром за мной заехать.

Осенью 1961 г. в Одессе была конференция по прямым методам преобразования тепловой энергии в электрическую. От ИП АН были А. Р. Регель, Н. В. Коломоец и я. Поселились, по предложению А. Р. Регеля, в одном номере. Потом пошли обедать. И тут началось: Анатолий Робертович не позволял нам с Коломоєм ни за что платить. Мы возмущались, но это не всегда помогало. Чуть-что, он брал такси и говорил нам, что всегда ездит по городу в такси, а нас только попутно подвозит.

С 1972 г. мы работали в разных местах, но встречались довольно часто, и при каждой встрече я чувствовал большую радость и, нисколько не преувеличивая, скажу, что потом целый день ходил в приподнятом настроении.

*Б. Я. Мойжес*

С Анатолием Робертовичем Регелем я познакомился летом 1956 г., когда очень молодым человеком переехал в Ленинград и стал сотрудником ИП АН СССР. Хорошо помню этот день. Институт почти пуст, но один из заместителей Абрама Федоровича на месте, и вот меня ввели в кабинет для представления ему. Анатолий Робертович сразу повел теплую беседу: какие есть проблемы, чем я буду заниматься. В этом прекрасном, но еще чужом городе мне стало уютнее после этого разговора. Потом, за многие прошедшие годы, было множество кратких и долгих разговоров с А. Р. Регелем на научные или общие темы, но первое впечатление осталось и укрепилось. Всегда в Анатолии



Робертовиче чувствовались неподдельные интерес к собеседнику, доброта, понимание, отзывчивость, подлинная интеллигентность, активное желание помочь. Уже после смерти А. Ф. Иоффе, будучи директором Института полупроводников, Анатолий Робертович много раз пытался помочь мне осуществить поездку по приглашению в институты или на конференции в западные страны. Однажды это получилось благодаря ему: вместе с ним осенью 1969 г. я поехал в Кембридж с обзорным докладом на конференцию по некристаллическим полупроводникам, которой руководил Н. Ф. Мотт. Только спустя много лет я случайно узнал, сколько усилий Анатолий Робертович потратил для этого.

Никогда не забывая того доброго, что Анатолий Робертович сделал для своих коллег и сотрудников, мы помним и о крупном вкладе, внесенном им в физику полупроводников, особенно в физику некристаллических полупроводников. Знаменитый критерий Иоффе—Регеля собственно и положил начало (вместе с критериями локализации Андерсона—Мотта) огромной новой области современной физики твердого тела — физики некристаллических полупроводников.

Наша благодарная память сохранит образ ученого и истинного интеллигента, каким был А. Р. Регель.

*М. И. Клингер*

Накануне нового 1990 г. мы проводили в последний путь Анатолия Робертовича Регеля. Мне вспомнился далекий 1954 г., лаборатория полупроводников, которую незадолго до того организовал А. Ф. Иоффе: маленькая комната на третьем этаже великокняжеского дворца на Петровской набережной, где в то время у нас был один стол на троих: Анатолия Робертовича, Монаса Самойловича и меня. Прошло не так много времени, и молодой кандидат наук А. Р. Регель стал доктором, профессором, заместителем директора, а затем и директором института. Но не прибавилось меди в его голосе, не появилось безапелляционности суждений и уверенности в собственной непогрешимости, покровительственных оттенков. Не изменилось ничего и тогда, когда он перестал быть директором: он оставался тем же Регелем до конца дней.

Не могу сказать, что А. Р. Регель всегда проявлял жесткую принципиальность. Случалось, что по доброте он не раз писал положительные отзывы на отнюдь не положительные книги или диссертации, ничуть не заблуждаясь насчет их истинных достоинств. Не чужда была ему и теория малых уступок: уступил в меньшем, чтобы сохранить большее. Но в глубине души его всегда существовал порог, дальше которого он не мог ступить, несмотря ни на что. А когда пришло такое время, он не пошел на уступки, хотя хорошо представлял, чем это грозило не только ему, но и Институту полупроводников, отвечать за судьбу которого он считал долгом перед А. Ф. Иоффе.

Ясно понимая, что то, что не сделает он, все равно будет сделано другими руками, он не мог поступиться своими принципами. Сейчас эта фраза не в чести: сколь часто за так называемыми «принципами» стоит лишь стремление сохранить урванный кусок пирога. Но у Анатолия Робертовича были истинные принципы, принципы настоящего интеллигента, которые он не провозглашал, но которым был верен всю жизнь. И это знали все, кому довелось с ним общаться, и об этом мы будем помнить всегда.

*Г. Е. Пикус*

Весной 1953 г. лаборатория полупроводников — трагически отколовшееся дитя Физтеха — размещалась в здании бывшего дворца великого князя Михаила, рядом с домиком Петра Первого. Над дверью, за которой звучали молодые голоса, висела скромная застекленная табличка «Заведующий сектором силовых полупроводниковых приборов кандидат физ.-мат. наук А. Р. Регель».

После образования в 1955 г. единственного в стране и в мире Института полупроводников А. Р. Регель становится заместителем А. Ф. Иоффе по науке.

Редко можно было застать его в кабинете. О том, чтобы перебить научный спор у Анатолия Робертовича, не могло быть и речи. Вежливое, но твердое и зачастую язвительное замечание навсегда отучало от таких попыток. Чистая (т.е. без административных примесей) наука всегда оставалась незыблемым бастионом в биографии Анатолия Робертовича.

Вехи творческого пути: начало — в знаменитой «кузнице» научных кадров — довоенном Физтехе, суровые годы военной науки (размагничивание кораблей Балтийского и Черноморского флотов), послевоенный Физтех, несправедливый, ненаучный спор конца 40-х, уход за учителем в зовущий мир полупроводников, тяжелый научный труд, «административная» физика, соопутствующая, увы, сильным ученым, воссоединение с Физтехом и снова вглубь, к познанию истины, которая с приближением к ней становится все более относительной.

В 1957 г. блестящая защита докторской диссертации — первого в мире фундаментального труда по исследованию свойств жидких полупроводников. «По жидкости — яко по суху», — говорит, выходя из зала заседаний, В. П. Жузе, руководивший еще в Физтехе началом этих исследований. Как достойная веха на тернистом научном пути — фундаментальный вывод: зонная структура кристалла, связанная доселе только с твердым его состоянием, не исчезает и при переходе в жидкое состояние; вывод, навсегда соединивший имена учителя и ученика — Иоффе и Регеля в названии физического закона; вывод, навсегда впечатавший фамилию научной династии Регелей уже во вторую (после ботаники) всемирную энциклопедию наук — физику.

Несколько последних десятилетий, не ослабляя творческого внимания к основной теме научных интересов — физике жидкого состояния, Анатолий Робертович и его ученики активно исследуют явления в пленках полупроводниковых структур, в основном соединений группы  $A^{III}B^V$ . При этом «в стиле Иоффе» большинство исследований не только доведено, как принято говорить, до «практических применений», но и воплощается в приборы, серийно выпускаемые отечественной промышленностью.

Пожалуй, наиболее серьезным испытаниям подвергла судьба Анатолия Робертовича как ученого, организатора, человека в период его руководства Институтом полупроводников АН СССР (1960—1972 гг.). Следует помнить, что Академия наук и коллектив ИП АН выдвинули А. Р. Регеля на этот пост на фоне достойнейших альтернативных кандидатур, таких как И. К. Кикоин, С. В. Вонсовский. И это закономерно, ибо к тому времени не было более авторитетного и компетентного продолжателя научного задела и идей А. Ф. Иоффе, чем Анатолий Робертович. В активе этого 20-летия — глубокие исследования явлений на границе твердой и жидкой фаз в ряде полупроводниковых соединений, фундаментальное изучение процессов диффузии примесей в полупроводниках, оказавшее серьезное воздействие практически на всю технологию полупроводниковых приборов; расцвет термоэлектрического направления — последнего и любимого детища А. Ф. Иоффе; обширные теоретические исследования особенностей механизмов рассеяния, зонной структуры и энергетического спектра носителей в широком классе полупроводников и полуметаллов. Во всех этих исследованиях и разработках проявились творческие искры таланта, обаяния, увлеченности Анатолия Робертовича и, увы, диалектически не отделимые от них — директорская строгость, требовательность, «упорядочивание и урегулирование».

В этот период мощный рывок сделала термоэлектрическая энергетика, уверенно вышедшая из стен лаборатории в ряд отраслей народного хозяйства и спецтехники. Анатолий Робертович был фактическим руководителем и координатором этого направления в стране, мировой приоритет которого тогда неформально признавался за рубежом. И не его вина в том, что дальнейшее развитие техники развело термоэлектричество по ведомственным и национальным квартирам, сделав сверхосторожными конкурентами тех, кто еще недавно в одном научном строю шел к одной цели.

К концу 60-х годов усилились центростремительные тенденции, руководством Академии наук был поставлен вопрос о консолидации ученых Ленинграда для решения важнейших проблем физики твердого тела и в связи с этим

о слиянии Института полупроводников с Физико-техническим институтом, получившим к тому времени имя своего основателя академика А. Ф. Иоффе. В этой непростой обстановке Анатолию Робертовичу пришлось в полной мере использовать свой арсенал чуткости и авторитета, решительности и гибкости, научного предвидения и житейской мудрости.

Вернувшись в стены института, где он начинал свой путь в науку, руководя одной из крупнейших полупроводниковых лабораторий ФТИ, вместе со своей уже сформировавшейся научной школой, Анатолий Робертович продолжает активные работы в области физико-химических свойств полупроводниковых материалов, перспективных для современной техники.

С самого основания журнала ФТП Анатолий Робертович был активным и бесменным членом его редколлегии.

Всем хорошо известно изречение классика: «Свобода есть осознанная необходимость». Но трудно найти человека, в деятельности которого этот девиз не проявлялся бы столь ярко, как у А. Р. Регеля. Наверное, именно это обстоятельство в конце концов привело Анатолия Робертовича на тот высочайший уровень уважения, научного и общественного признания, на котором он навсегда останется в нашей памяти.

*Г. К. Иорданишвили*

Моя встреча с А. Р. Регелем состоялась в декабре 1954 г. Я специально приехал в Ленинград, чтобы познакомиться с установкой по измерению электропроводности безэлектродным методом во вращающемся магнитном поле, описанной А. Р. Регелем [1] в 1948 г. В Физико-техническом институте мне сказали, что А. Р. Регель здесь больше не работает, и дали адрес, по которому его можно найти. Я отправился по этому адресу на другой день. С трудом отыскал Петровскую улицу и здание Института физиологии, где поселилась группа сотрудников опального академика А. Ф. Иоффе, в составе которой был и А. Р. Регель.

Анатолий Робертович принял меня очень приветливо. Я был тогда аспирантом первого года обучения Института металлургии им. А. А. Байкова АН СССР. Эта встреча явилась поворотным пунктом в моей научной судьбе, так как с этого времени я целиком посвятил себя изучению металлических и полупроводниковых расплавов. Анатолий Робертович снабдил меня копиями чертежей и оттисками своих работ, впоследствии очень пригодившимися. Я вернулся в Москву окрыленным и с энтузиазмом принялся за работу, программа ее тоже была обсуждена с Анатолием Робертовичем. Прошло более 10 лет, в течение которых я периодически встречался с Анатолием Робертовичем. Надо сказать, что в определенное время на фоне жизненных невзгод наступил период сомнений и упадка, и тогда Анатолий Робертович оказал мне неоценимую помощь, поделившись со мной своей жизненной философией. Суть ее заключалась в двух словах — «оптимизм» и «благожелательность». Он так убежденно говорил о достоинствах своей жизненной концепции, что я, будучи человеком впечатлительным, целиком ее воспринял и, видимо, буду исповедовать ее до конца своих дней. Наступил 1966 год. Мне предстояла защита докторской диссертации, на которой Анатолий Робертович согласился быть официальным оппонентом. Отзыв о моей работе он написал кратко, очень точно и в немногих словах сформулировав суть и замечания. Я всегда поражался краткости его рецензий на диссертации, авторефераты, книги и статьи. Выступления его на защитах производили исключительно глубокое впечатление. Свои отзывы Анатолий Робертович не зачитывал, а произносил изустно, с предельной убедительностью раскрывая как достоинства, так и недостатки работы. При этом ощущалось очень ясное понимание проблем, которые он обсуждает, а я, всегда с восхищением слушая его, вспоминал известное изречение А. П. Чехова о том, что краткость — сестра таланта. В этом году намечались наши первые совместные работы. Я помню конференцию по расплавам в Мозженке под Звенигородом. Мы с Анатолием Робертовичем обсуждали вопрос об объемных изменениях, сопровождающих плавление полупроводников. Анатолий Робертович считал,

что по знаку объемных изменений переходы полупроводников из твердого состояния в жидкое могут быть подразделены на те же группы, что и переходы, наблюдаемые при исследовании электропроводности.

Выяснилось, что вещества, плавящиеся по типу полупроводник—металл (как теперь принято говорить, согласно классификации А. Р. Регеля), претерпевают сжатие при переходе в жидкое состояние, т. е. ведут себя так же, как вода; вещества, сохраняющие полупроводниковые свойства, плавятся с расширением. Следовательно, коэффициент  $dT/dP$  в известном уравнении Клапейрона—Клаузиуса для веществ первой группы является отрицательным, а для второй — положительным. Результат, таким образом, получился нетривиальным <sup>[2-4]</sup>. Столь же плодотворным было наше сотрудничество и в дальнейшем. Вначале Анатолий Робертович рассеял все мои сомнения относительно сохранения наследственных черт структуры кристалла при переходе в жидкое состояние. Здесь решающую роль сыграла мысль, высказанная Анатолием Робертовичем, о том, что наиболее ярко это должно проявляться у веществ, плавящихся по типу полупроводник—металл, так как микрообъемы расплава со структурой кристалла должны сохранять и ковалентный тип межатомной связи, а окончательное разрушение этих микрообластей должно сопровождаться изменениями свойств. Так оно оказалось и в действительности. Указанный эффект получил название явления «послеплавления» и был подробно проанализирован нами в работах <sup>[5, 6]</sup> на основе экспериментальных данных по температурной зависимости вязкости и плотности.

В начале 70-х годов у Анатолия Робертовича родилась мысль обобщить имеющийся экспериментальный материал. Был составлен и обсужден план книги. Анатолий Робертович, будучи физиком и по образованию, и по характеру своих работ, очень четко ориентировался в химических или, точнее, физико-химических аспектах проблемы, что нашло отражение в его докторской диссертации. Он прекрасно знал и высоко ценил работы Д. И. Менделеева и Н. С. Курнакова. Когда встал вопрос о названии нашей книги, Анатолий Робертович сказал, что систематизация экспериментального материала должна осуществляться на основе периодического закона Д. И. Менделеева, поэтому так и назовем «Периодический закон и физические свойства электронных расплавов».

Термин «электронные расплавы» вызвал впоследствии некоторые нарекания, однако Анатолий Робертович еще в самом начале, т. е. в постановочной части работы над книгой, предложил расплавы металлов и полупроводников называть электронными расплавами, исходя из того, что проводимость в них осуществляется электронами в отличие от ионных расплавов солей, где проводимость осуществляется ионами. Началась напряженная работа по обработке экспериментальных данных и написанию книги. Для обсуждения результатов Анатолий Робертович приезжал в Москву, как правило, в субботу утром, а уезжал в воскресенье поздно вечером. При обсуждении и отборе материала Анатолий Робертович всегда имел определенное мнение. Он никогда не обсуждал мелочи. Обычно у него была какая-то доминирующая идея, и, коснувшись одного вопроса, он неизменно возвращался к этой идее и «проигрывал» ее сначала применительно к этому вопросу. В спорных ситуациях Анатолий Робертович либо приводил ясные аргументы в пользу своих суждений, либо, если возражения ему казались убедительными, принимал окончательную формулировку.

В 1976 г. работа над книгой была в основном закончена. Однако возникло одно отягчающее судьбу этой книги обстоятельство: появилось указание Госкомиздата о том, что издаваемые монографии не могут иметь объем более 20 печатных листов. В какой мудрой голове родилась такая мысль, не знаю. Книгу нужно было издавать по частям. Анатолий Робертович со свойственным ему оптимизмом сказал «отлично» и сформулировал основные принципы, согласно которым рукопись была разделена на три части. Но все оказалось не так просто: пришлось сочинять еще два названия и преодолевать технические трудности. Анатолий Робертович очень заботился о том, чтобы каждая последующая часть была независимой книгой и имела самостоятельное значение, а для этого потребовались дополнительные усилия и время.

Наконец, в 1978 г. вышла первая часть [7] под названием, о котором я уже упоминал, а в 1980 и 1982 г. — две остальные части [8, 9].

В процессе работы над книгой возникла идея разработать феноменологическую модель энтропии плавления. Собственно сама модель была сформулирована Анатолием Робертовичем еще в 1953 г. в небольшой статье [10]. После подробных дискуссий на эту тему удалось придать модели количественный характер и получить расчетным путем значения энтропии плавления многих полупроводниковых веществ, практически не отличающиеся от экспериментальных данных, приведенных в справочной литературе. Позднее эти разработки легли в основу обобщающей статьи, написанной нами для юбилейного сборника, посвященного профессору Н. Мотту [11], и изданной в США и Англии. Работа над книгой позволила наметить пути дальнейших экспериментальных исследований. В результате обозначились направления высокотемпературных исследований эффекта Холла и термоэдс, скорости распространения ультразвука и магнитной восприимчивости [12, 13]. При этом в каждом случае ставилась задача подробного изучения не только фазового перехода кристалл—расплав, но и жидкой фазы. Среди этих исследований стоит упомянуть о работах по ультраакустике. В 1985 г. на кафедре физической химии МИЭТ была закончена диссертационная работа С. Г. Кима, на защите которой Анатолий Робертович выступал в качестве официального оппонента. Диссертант получил результаты, сильно меня смущавшие, а именно температурный ход скорости распространения ультразвука в ряде расплавов носил пульсирующий характер. Особенно яркая картина наблюдалась на жидком галлии. Однако Анатолий Робертович решительно поддержал эти результаты и даже выдвинул вариант их объяснения. На основе этого была развита количественная теория, объясняющая наблюдаемую экспериментальную картину. Анатолий Робертович до последних дней своей жизни интересовался судьбой этой работы и направлял ее по определенному руслу. Этот пример является очень характерным для Анатолия Робертовича.

Ясное физическое мышление, умение выделить главное, яркий талант и исключительная душевная щедрость осветили путь в науку мне и многим моим коллегам. Мы всегда будем с любовью и благодарностью вспоминать об этом замечательном человеке.

#### Список литературы

- [1] Регель А. Р. // ЖТФ. 1948. Т. 18. В. 12. С. 1511.
- [2] Регель А. Р., Глазов В. М. // Вестн. АН СССР. 1967. № 7. С. 75—79.
- [3] Крестовников А. Н., Регель А. Р., Глазов В. М. // Проблемы металлургии. Сб. тр. Московск. инст. стали и сплавов. М., 1968. № 52. С. 206—221.
- [4] Глазов В. М., Крестовников А. Н., Регель А. Р. // Физ. и хим. обр. материалов. 1967. № 3. С. 118—130.
- [5] Регель А. Р., Глазов В. М. // Электрон. техн. Сер. 6. Материалы. 1984. № 9 (194). С. 7—22.
- [6] Регель А. Р., Глазов В. М. // ФТП. 1983. Т. 17. В. 10. С. 1729—1747.
- [7] Регель А. Р., Глазов В. М. Периодический закон и физические свойства электронных расплавов. М., 1978. 306 с.
- [8] Регель А. Р., Глазов В. М. Физические свойства электронных расплавов. М., 1980. 296 с.
- [9] Регель А. Р., Глазов В. М. Закономерности формирования структуры электронных расплавов. М., 1982. 320 с.
- [10] Регель А. Р. // Уч. зап. ЛГПИ им. А. И. Герцена. Л., 1953. Т. 197. С. 187—189.
- [11] Regel A. R., Glazov V. M. // Changes in entropy semiconductor electron subsystem on fusion Physics of Disordered Materials / Ed. by D. Adler, H. Fritsche, S. Ovshinsky. N. Y.—London, 1985. P. 275—282.
- [12] Регель А. Р., Глазов В. М., Ким С. Г. // ФТП. 1986. Т. 20. В. 8. С. 1353—1376.
- [13] Регель А. Р., Глазов В. М., Кольцов В. Б. // ФТП. 1989. Т. 23. В. 7. С. 1129—1141.