

УДК 621.92

©1995 г.

ПАМЯТИ АНАТОЛИЯ РОБЕРТОВИЧА РЕГЕЛЯ

(К 80-летию со дня рождения)¹

14 мая 1995 г. исполняется 80 лет выдающемуся российскому ученому-физику, педагогу, организатору науки, лауреату Государственной премии, Заслуженному деятелю науки, лауреату премии им. А.Ф.Иоффе Президиума Академии наук, профессору Анатолию Робертовичу Регелю.

В середине прошлого века семья Регелей по приглашению инспектора садов придворного ведомства приехала из Швейцарии. Дед Анатолия Робертовича, Эдуард Людвигович, стал директором Ботанического императорского сада в Санкт-Петербурге [1], российским дворянином. Младший сын его Роберт Эдуардович окончил Санкт-Петербургский университет и высшее училище плодоводства в г.Потсдаме. После работы в том же Ботаническом саду и чтения лекций в Санкт-Петербургском университете и в других городах в 1900 г. Роберт Эдуардович начал работу в Бюро по прикладной ботанике (с 1916 г. — Отдел прикладной ботаники), которое возглавил в 1905 г., посвятив ему всю свою жизнь. В результате прикладная ботаника получила признание и стала необходимой отраслью во всех опытных и селекционных учреждениях России. Здесь Роберт Эдуардович угадал в студенте Н.И.Вавилове будущего яркого ученого и в 1917 г. выдвинул его в свои заместители. После внезапной смерти Роберта Эдуардовича от сыпного тифа в 1920 г. заведующим Отделом прикладной ботаники стал Н.И.Вавилов. При нем Отдел был преобразован во Всесоюзный институт растениеводства.



Профессор А.Р.Регель

¹ Составитель А.Г. Остроумов.



В Физико-техническом институте АН СССР, 1940 г.: Ю.А. Дунаев, Э.Я. Зандберг, А.Ф. Иоффе, Н.И. Шишкин, А.Р. Регель.

Интерес к естественным наукам рано сформировался у Анатолия Робертовича. В 1933 г. он стал студентом физико-механического факультета, деканом которого был А.Ф.Иоффе. Дипломная работа А.Р.Регеля «Пластификация аморфных тел», выполненная в лаборатории А.П.Александрова под руководством С.Н.Журкова, получила высокую оценку рецензента П.П.Кобеко. Блестяще защищенная дипломная работа и диплом с отличием об окончании института открыли ему возможность стать сотрудником Физико-технического института Академии наук СССР (1938 г.), возглавляемого академиком А.Ф.Иоффе.

В июле 1941 г. в составе группы сотрудников ФТИ А.Р.Регель был направлен в Севастополь в распоряжение А.П.Александрова, руководившего работами по размагничиванию кораблей Черноморского флота. Необходимость в таких работах возникла в связи с применением немецким военно-морским флотом мин и торпед, чувствительных к магнитному полю проходящих судов и кораблей. По отзывам академика А.П.Александрова вклад Анатолия Робертовича в решение этих задач по размагничиванию кораблей Военно-Морского флота был весьма значительным. Командование ВМФ высоко оценило работы физиков. Анатолий Робертович за эти работы был удостоен ордена Красной Звезды и медали «За оборону Севастополя». Организация работ по размагничиванию, конечно, была мерой чрезвычайной. Это один из примеров того, как Академия наук не только теоретически решила внезапно возникшую важную задачу, но ее сотрудники на практике в тяжелых условиях реализовали это решение, сохранив многие человеческие жизни [2].

Физико-технический институт АН продолжил работу в условиях эвакуации в г.Казани вплоть до мая 1945 г. Анатолий Робертович



А.Р. Регель, Ю.С. Лазуркин, И.В. Курчатов — участники Черноморской группы размагничивания кораблей. Поти, декабрь 1941 г.

в 1943 г. вернулся к своей прежней работе, ставшей особенно актуальной в условиях военного времени. Результаты исследований поведения металлов при динамических нагрузках Анатолий Робертович представил в качестве диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Защита состоялась в мае 1943 г. в г.Казани, а через 2 месяца после защиты Анатолий Робертович получил звание и должность старшего научного сотрудника.

Исследование полупроводников усилиями отечественных и зарубежных физиков уже накопило «критическую массу» экспериментальных фактов и обрело основы теоретического осмысления. Анатолий Робертович, однако, сумел внести свой весомый вклад в это направление физики твердого тела. После защиты диссертации и завершения определенного этапа прикладных работ, связанных с броней, Анатолий Робертович несколько изменил акценты в своих научных исследованиях. Его интерес переместился в область таких фундаментальных свойств кристаллов, как прочность, пластичность, вязкость, влияние на деформацию кристаллов дислокаций, точечных дефектов и т.д. Расширился круг исследуемых материалов. В их числе были уже не только металлы, но и полупроводниковые материалы.

В 1945 г. вскоре после возвращения основного коллектива физико-технического института из эвакуации А.Ф.Иоффе предложил А.Р.Регелю изменить тематику и перейти в лабораторию В.П.Жузе, где развивались исследования электронных полупроводников. Некоторое время (1945–1951 гг.) в новой лаборатории Анатолий Робертович проводил исследования полупроводниковых соединений параллельно с начатыми ранее работами по разделению изотопов.

В институте в это время формировалась лаборатория В.Л.Куприенко, ученика академика Н.Н.Андреева, ориентированная на разработку физических основ создания конструкционной брони. А.Р.Регель стал ее первым сотрудником. Его научной работой было исследование

поведения материалов при больших скоростях деформации. Результаты этой работы дали Анатолию Робертовичу основания сформулировать оригинальную теорию деформации упруговязких тел, повлиявшую на существовавшие тогда представления в этой области. Уже в то время академик А.Ф.Иоффе предсказывал ему будущее крупного ученого. В мае 1945 г. он вместе с другими сотрудниками вернулся в Ленинград и продолжил работу. Результаты этих важных исследований, полученных А.Р.Регелем совместно с Ф.Ф.Витманом и др., опубликованы в специальной монографии [3].

В новой лаборатории он начал изучение электрических и некоторых других свойств интерметаллических соединений и полупроводников со структурой алмаза и цинковой обманки. В качестве объекта своих первых исследований в этом направлении, исходя из общих соображений, развиваемых в ФТИ Н.А.Горюновой, он выбрал моноселенид и монотеллурид ртути, кристаллизующиеся в структуре цинковой обманки. Ему удалось показать, что подвижность носителей заряда в этих соединениях достигает рекордно больших значений. В 1951 г. появляется его публикация [4], а спустя некоторое время промышленность начинает выпускать на основе этих и других полупроводниковых материалов датчики Холла для измерений напряженности магнитного поля. На основе этих датчиков позже были разработаны преобразователи тока, магнитометры, частотомеры и другие приборы. Одной из побудительных причин того, что А.Ф.Иоффе и А.Р.Регель форсировали развитие этого направления, был поиск путей создания низковольтных преобразователей постоянного тока термогенераторов в переменный.

Интерес к возможностям измерения магнитных полей появился у Анатолия Робертовича значительно ранее, еще в пору его работы на флоте. Работа по размагничиванию кораблей была немыслима без простых, надежных и достаточно чувствительных измерителей магнитных полей. Еще тогда с участием А.Р.Регеля был сконструирован, изготовлен и прошел все испытания механический магнитометр, прозванный «вертушкой ЛФТИ». Приборы эти надежно служили во все время работ по размагничиванию кораблей. И вот спустя 13 лет, на качественно новом уровне Анатолию Робертовичу довелось вернуться к этой проблеме (измерители магнитных полей на основе эффекта Холла) [5].

В 1950 г. на Совещании по свойствам полупроводников в Киеве А.Р.Регель с сотрудниками изложили на примере антимолибдита индия экспериментальные доказательства, подтвердившие правильность гипотезы Н.А.Горюновой о полупроводниковом характере свойств соединений группы $A^{III}B^V$. Позже соединения этой группы стали играть важную роль в развитии полупроводниковой электроники.

Примерно в то же время Анатолий Робертович с небольшой группой своих сотрудников (А.И.Блум, Н.П.Мокровский) начал цикл исследований по изучению физических свойств расплавов металлов и полупроводников, принесший ему впоследствии всеобщее признание и мировую известность. Первая его публикация по этому вопросу относится к 1948 г. [6]. Эта область физики стала основным объектом его научных интересов до конца жизни.

Обобщая результаты исследований широкого круга веществ с различными кристаллохимическими характеристиками, А.Ф.Иоффе в 1947 г. высказал гипотезу о том, что параметры вещества, характеризующие его полупроводниковые свойства, — эффективная масса носителей заряда, ширина запрещенной зоны и т.д. — определяются ближним порядком, а именно природой химической связи атомов вещества, координационным числом, величиной межатомных расстояний. Дальний же порядок — основа зонной теории полупроводников — определяет условия движения свободных носителей заряда в твердых и жидких телах. Экспериментальную проверку и подтверждение этой гипотезы Анатолий Робертович получил при исследовании электрических свойств расплавов различных полупроводниковых материалов. Для выполнения этих исследований им была разработана остроумная методика безэлектродного измерения электропроводности расплава вещества во вращающемся магнитном поле. Два экземпляра такого прибора были изготовлены в ФТИ, один — для Педагогического института, второй был использован в ФТИ для исследований особенностей фазового перехода кристалл–расплав в веществах с различной структурой. Тщательная постановка эксперимента с параллельной работой на двух установках позволила в относительно короткое время получить интересные физические результаты. Оказалось, что в этих веществах, в которых при плавлении нарушается ближний порядок, полупроводниковые свойства кристаллов трансформируются при плавлении кристаллов в свойства, присущие металлам. К числу таких веществ относятся, например, германий, кремний, соединения $A^{III}B^V$. Если же в веществе при плавлении ближний порядок сохраняется (например, в теллуридах цинка и кадмия), то полупроводниковые свойства сохраняются и в расплавленном, аморфном состоянии. Эти результаты имели принципиальное значение не только для теории твердого тела, но и для поиска новых полупроводниковых материалов в направлении исследований стеклообразных, аморфных веществ.

Критерий, определяющий роль ближнего порядка в формировании электронных свойств полупроводника, со временем получил название критерия Иоффе–Регеля [7,8]. «Исследования по электронной проводимости жидкости», представленные А.Р.Регелем на соискание ученой степени доктора физико-математических наук в 1957 г., принесли ему искомую степень [9]. Защита в Ленинградском государственном университете прошла блестяще. «По жидкости — яко по суху», — заметил В.П.Жузе после защиты.

Диссертация была подготовлена годом раньше — в 1956 г., текст ее был отдан для ознакомления А.Ф.Иоффе. Он же, по-видимому, забыв об этом, примерно через год после получения текста спросил Анатолия Робертовича как обстоят дела с защитой. Узнав, что Анатолий Робертович ничего не предпринимал, не получив его отзыва, Абрам Федорович сейчас же написал блестящий отзыв, содержащий высокую оценку работы: «Диссертация А.Р.Регеля является выдающимся событием в науке о полупроводниках и о твердом теле в целом. Все богатство новых фактов рассматривается автором диссертации с единой точки зрения, учитывающей как характер связей, так и положение элементов соединений в Периодической системе. ... Новизна и обширность полученных результатов ... делают рассматриваемую диссертацию крупным вкладом в современное учение о веществе в различных его состояниях».

From

PROFESSOR SIR NEVILL MOTT, F.R.S.

CAVENDISH LABORATORY
FREE SCHOOL LANE
CAMBRIDGE

Telephone: Cambridge 54481

19th October, 1966.

Dear Dr. Regel,

I was most interested in your ideas as published in the Abstract of papers for the Brookhaven Conference on the semi-metallic type of band structure for electrons in liquids. If you have any papers expressing your ideas on this, I would be most grateful for a copy.

Yours sincerely,



Dr. A. R. Regel,
Institute of Semiconductors
of the Academy of Sciences,
Leningrad,
U.S.S.R.

Письмо Н. Мотта А.Р. Регелю 1966 г. (факсимиле)

Развитие этих исследований в последующие годы дало возможность Анатолию Робертовичу не только сформулировать закономерности для электрических свойств веществ в зависимости от их состава, структуры, типа химической связи при переходе через точку плавления, но и исследовать процессы, разыгрывающиеся на границе жидкой и твердой фаз, а также явления в аморфных полупроводниковых пленках. Более того, физические представления, развитые Анатолием Робертовичем в этих исследованиях, нашли приложение и в полупроводниковом приборостроении.

Работы А.Р. Регеля получили международную известность, а сам он стал признанным авторитетом в области физики неупорядоченных систем. Создатель теории неупорядоченного состояния лауреат Нобелевской премии профессор Н.Мотт (Кембриджский университет) неизменно проявлял большой интерес и оказывал поддержку работам А.Р.Регеля. Систематически стали проводиться международные конференции по аморфным и жидким полупроводникам. Шестая конференция проходила в 1975 г. в Ленинграде, а председателем ее оргкомитета был А.Р.Регель.

Интерес к неупорядоченному состоянию у Анатолия Робертовича сохранился надолго. Этому кругу вопросов в той или иной степени посвящено более половины всех (из более 200) научных работ А.Р.Регеля. Список его работ опубликован в препринте «Анатолий Робертович Регель (1915–1989). Жизнь и научная деятельность (очерки) (Л., Лениздат, 1991)».²

² Анализ работ А.Р.Регеля в области исследования жидких полупроводников выполнен в статье А.А.Андреева (см. настоящий выпуск).

В 1968 г., обсуждая со своим Московским коллегой и другом В.М.Глазовым результаты и перспективы исследований неупорядоченных систем, Анатолий Робертович предложил совместно подготовить монографию по физическим свойствам электронных расплавов. Колоссальный труд, выполненный А.Р.Регелем и В.М.Глазовым, дал в руки физиков трехтомную энциклопедию данных и физических понятий, относящихся к переходу вещества через точку плавления [10,11,12]. За цикл исследований по химической термодинамике полупроводников А.Р.Регель в 1981 г. был награжден Государственной премией.

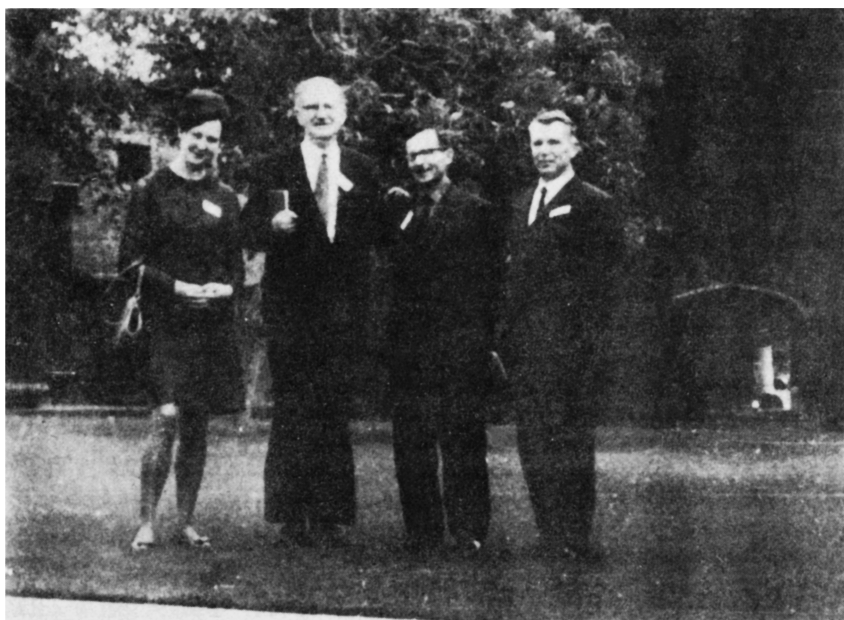
В конце 1950 г. А.Ф.Иоффе покинул пост директора ФТИ, а в 1952 г. он возглавил самостоятельную Лабораторию физико-математических наук АН СССР, которая в 1954 г. была преобразована в Институт полупроводников АН СССР (ИП АН).

Анатолий Робертович без колебаний последовал за своим учителем и вошел в число тех сотрудников, на плечи которых легли все основные обязанности по становлению Лаборатории. Он вошел в состав Ученого совета Лаборатории, стал ее ученым секретарем. С этой поры он, пожалуй, был основным помощником директора новой лаборатории, его опорой, проводником организационных мероприятий Абрама Федоровича.

Анатолий Робертович стал (1955 г.) в ИП АН заведующим лабораторией неравновесных процессов в усилителях, а вскоре после защиты докторской диссертации, еще до утверждения в ВАК, по представлению А.Ф.Иоффе Президиум АН утверждает А.Р.Регеля заместителем директора ИП АН.

Через некоторое время после блестящей защиты им докторской диссертации некоторые члены Ученого совета института высказали мнение о том, что в проблеме, которой Анатолий Робертович посвятил более 5 лет работы, — проблеме некристаллических полупроводников — самое интересное уже якобы сделано и ему следует переключиться на другую тематику, например на исследование явлений в полупроводниковых диодных структурах, а прежнюю тематику передать в вузы. Абрам Федорович поддержал это мнение. Однако Анатолий Робертович не разделял мнение о необходимости прекращения работ в прежнем направлении. «Симпатии» к исследованию полупроводников в неупорядоченном состоянии сохранились у него на всю жизнь. Проблемы упорядоченности—разупорядоченности, связанные с характером химической связи в веществе, расплавы, аморфное твердое тело, стеклообразные материалы оставались предметом его постоянного научного интереса. Научная интуиция его не подвела. Он развивал эти исследования вне зависимости от того, как называлась его лаборатория в той или иной период времени, от того, какие прикладные исследования ему предстояло выполнять по распоряжениям директивных органов или по хозяйственным работам.

В последние годы жизни Абрам Федорович особенно тщательно занимался проблемой развития института, формируя некое завещание тому, кто его сменит на посту директора. Он, в частности, заранее подготовил все необходимые документы для назначения Анатолия Робертовича на должность директора института. Три года работы в должности заместителя директора (1957–1960 гг.) явились для Анатолия Робертовича своеобразной «стажировкой» под руководством умудренного опытом крупнейшего в стране организатора физики, что оказалось весьма полезным на протяжении десяти лет его директорства.



Н.М. Окунева, Н. Мотт, М.И. Клингер, А.Р. Регель. В гостях у Невеля Мотта. Кембридж, Иезус-колледж, 1969 г.

К этому времени Институт полупроводников превратился в крупный физический институт с определенной тематической направленностью в области физики твердого тела, со своим «лицом», с хорошим творческим коллективом, явной перспективой и авторитетом в стране и за ее пределами. Он был определен главным исполнителем по ряду интересных физических и важных технических направлений.

Одним из основных направлений работ института в те годы было термоэлектрическое преобразование тепловой энергии в электрическую, заданное институту академиком А.Ф.Иоффе. Анатолий Робертович, став директором ИП АН и приняв на себя нелегкие административные обязанности, сделал все возможное, чтобы стать неформальным лидером в этом направлении исследований. Физические исследования обширного класса полупроводников, разработка высокоэффективных термоэлектрических материалов — халькогенидов висмута, сурьмы и свинца, термоэлектрические элементы и батареи для генераторов и охлаждающих устройств для различных интервалов температур, в том числе для глубокого охлаждения, создание конкретных термоэлектрических аппаратов — все эти направления получили в лице Анатолия Робертовича активного участника, научного руководителя и консультанта.

При его непосредственном участии происходила передача технологии изготовления материалов для термобатарей на Усть-Каменогорский металлургический комбинат, дорабатывался и передавался на опытный завод ВНИИТ под Москвой термоэлектрогенератор катодной защиты от коррозии магистральных газо- и нефтепроводов. Анатолий Робертович как председатель термоэлектрической секции Совета по прямому преобразованию энергии вместе с сотрудниками ИП АН и конструкторского бюро при институте активно содействовал созданию

крупной технологической базы для проектирования и выпуска крупных термоэлектрогенераторов в Сухумском физико-техническом институте, автономных генераторов, работающих на тепловой энергии радиоактивного распада в Институте радиотехники (ВНИИРТ, г. Москва).

А.Ф.Иоффе и А.Р.Регель придавали большое значение исследованиям дефектной структуры кристаллов полупроводниковых материалов, важных для микроэлектроники. Руководство лабораторией диффузии и дефектообразования Анатолий Робертович взял на себя после смерти проф.Б.И.Болтакса и полностью включился в решение этих проблем. Одна из последних работ Анатолия Робертовича [18] посвящена исследованию структурных превращений в монокристаллах кремния, происходящих при их нагреве.

Широкий физический кругозор А.Р.Регеля, непредвзятость мышления и острое любопытство естествоиспытателя определило возможность проведения в ИП АН работ в ряде «неожиданных» направлений. Примером может служить постановка работ по изучению капиллярных явлений в каналах одноатомных размеров (1969–1971 гг.). Исследование теплопроводности стало хорошим методом изучения электронного и фононного вкладов, дефектной структуры твердых тел, механизмов рассеяния фононов и особенностей зонной структуры. Анатолий Робертович принимал непосредственное участие в этих исследованиях. Им совместно с коллегами опубликован большой обзор работ (пока единственный в литературе) по теплопроводности расплавов [20].

Основой развития работ по техническому применению гальваномагнитных свойств, в частности, датчиков Холла явились работы Анатолия Робертовича с коллегами по исследованию полупроводников с высокой подвижностью носителей заряда. Были разработаны и изготовлены в лабораторных условиях малые партии генераторов и преобразователей электрических сигналов, измерителей токов и магнитных полей. В ФТИ с 1972 г. А.Р.Регель возглавил большую лабораторию, в состав которой вошли сектора (позднее самостоятельные лаборатории) учеников Анатолия Робертовича, организованные по его инициативе. В дальнейшем он руководил лабораторией диффузионных процессов и дефектообразования, а также лабораторией низких температур, подготавливая себе замену из числа более молодых сотрудников.

С 1962 г. Анатолий Робертович являлся заместителем председателя Научного совета по проблеме «Физика и химия полупроводников», возглавляемого академиком Б.М.Вулом, и председателем секции этого совета «Физика полупроводников», а также членом Научного совета АН СССР по проблеме «Физико-химические основы металлургических процессов». Он участвовал в работе ученых советов ФТИ, Института общей и неорганической химии (ИОНХ), Педагогического института и др.

Участие Анатолия Робертовича в координации работ по исследованию полупроводников распространялось и за пределы страны. С 1973 г. он был членом советской части проблемной комиссии многостороннего сотрудничества академий наук стран СЭВ по программе «Исследование полупроводников». Он регулярно принимал участие в Международных конференциях по физике полупроводников и физике аморфных и жидких полупроводников.

Несмотря на колоссальную занятость научной и научно-организационной работой в Академии наук, Анатолий Робертович всегда счи-

тал для себя обязательным вести педагогическую работу. Он был не только ученым по призванию, но и прирожденным педагогом. Этот дар подкреплялся не только глубоким знанием предмета, но и внимательным, уважительным отношением к аудитории, даже если она состояла из одного собеседника. Четкость и логичность мышления и формулировок, явная постановка задач, способность выделить из массы фактов главные, найти и изложить логическую связь между ними неизменно производили на его слушателей большое впечатление. Начинал он свою педагогическую деятельность на кафедре теоретической физики Педагогического института в 1947 г. по приглашению профессора А.В.Степанова. Подготовка к первым лекциям по курсам атомной физики и квантовой механики потребовала от него много времени и нервной энергии. Чтение общего курса физики он сопровождал интересными и, зачастую, оригинальными демонстрационными опытами, закреплял знания по новым разделам физики организацией лабораторных работ студентов. Многие студенты, выполнявшие под руководством Анатолия Робертовича экспериментальные курсовые работы, стали позже его аспирантами.

Анатолий Робертович прекращает чтение курсов в педагогическом институте лишь после того, как становится директором ИП АН. Однако и после этого он не прерывает связи с учебным институтом, активно содействуя постановке новых работ, в том числе по исследованию термоэлектрических элементов и батарей.

В лаборатории Анатолия Робертовича в ИП АН всегда было много аспирантов. В аспирантуру в те годы в основном принимали молодых ученых из республик СССР, из вузов, специалистов из промышленности. У Анатолия Робертовича были аспиранты из Армении, Молдавии, Казахстана, Средней Азии. Под его руководством выполнено около 30 кандидатских диссертаций в ИП АН и свыше 70 — в Педагогическом институте [21].

В 1986 г. Анатолию Робертовичу было присвоено звание «Заслуженный деятель науки».

Анатолий Робертович очень любил природу, как дикую, так и сады, и парки, прекрасно различал голоса певчих птиц. В студенческие годы он совершал пешие походы по Крыму, Памиру и северному Уралу, а с 50-х годов увлекся весенними и летними байдарочными походами. В летних походах вместе с ним были и жена Ирина Алексеевна Ильинская и сын Алексей. Живя последние сорок лет на территории Ботанического сада, он ежедневно в теплое время года любовался его растениями и коллекциями и круглый год посещал оранжереи вместе со своими тремя детьми и шестью внуками. Во время заграничных командировок он посещал парки наравне с музеями. Так, в Англии он побывал и в парке, и в оранжереях Кью.

Анатолий Робертович любил живопись, музыку, театр. Он был очень внимателен и доброжелателен к людям.

27 декабря 1989 г. Анатолия Робертовича не стало. С нами остались его научные труды и наши воспоминания от общения с ним — глубоко порядочным, интеллигентным человеком, крупным ученым и педагогом. Жизнь этого доброго и мудрого человека для тех, кто работал с ним рядом, осознанно или подсознательно остается в назидание как пример для подражания.

Благодарные ученики, друзья и коллеги

Список литературы

- [1] Ф.А. Брокгауз, И.А. Ефрон. Энциклопедический словарь, **4А**, 8, (1891).
- [2] Б.А. Ткаченко. *История размагничивания кораблей советского военно-морского флота* (Л., 1981).
- [3] А.Ф. Иоффе, Ф.Ф. Витман, В.Л. Куприенко, А.Р. Регель и др. *Экспериментальные данные и соображения к вопросу о конструктивной броне* (М., 1946).
- [4] А.И. Блум, А.Р. Регель. *ЖТФ*, **21**, 316 (1951).
- [5] В.П. Жузе, А.Р. Регель. *Технические применения эффекта Холла* (Л., 1957).
- [6] А.Р. Регель. *ЖТФ*, **18**, 1511 (1948).
- [7] А.Ф. Иоффе, А.Р. Regel. *Prog. Semicond.*, **4**, 237 (1960).
- [8] Персоналия «Памяти Анатолия Робертовича Регеля (1915–1989)», *ФТП*, **24**, 955 (1990).
- [9] А.Р. Регель. *Исследования по электронной проводимости жидкостей*. Автореф. докт. дис. (Л., 1957).
- [10] В.М. Глазов, А.Р. Регель. *Периодический закон и физические свойства электронных расплавов* (М., 1978).
- [11] В.М. Глазов, А.Р. Регель. *Физические свойства электронных расплавов* (М., 1980).
- [12] В.М. Глазов, А.Р. Регель. *Закономерности формирования структуры электронных расплавов* (М., 1982).
- [13] В.Л. Гуревич, Ю.А. Фирсов. *ЖЭТФ*, **40**, 198 (1961).
- [14] Р.В. Парфеньев, Г.И. Харус, И.М. Цидильковский, С.С. Шалыт. *УФН*, **112**, 1–2, 1 (1974).
- [15] Г.Л. Бир, Г.Е. Пикус. *Симметрия и деформационные эффекты в полупроводниках* (М., 1972).
- [16] Ю.А. Водаков, Ю.С. Бланк, А.А. Мостовский. *ФТТ*, **5**, 2228 (1963).
- [17] Отчет ФТИ АН (1972). Гос. регистр 72056354 (1977).
- [18] В.М. Глазов, В.Б. Кольцов, В.З. Куцова, А.Р. Регель. *ФТП*, **15**, 58 (1991).
- [19] Ф.Г. Бакшт, Г.А. Дюжев, А.М. Марциновский, Б.Я. Мойжес, Г.Е. Пикус, Э.Б. Сонин, В.Г. Юрьев. *Термоэмиссионные преобразователи и низкотемпературная плазма* (М., 1973).
- [20] A.R. Regel, I.A. Smirnov, E.V. Schadrichév. *Phys. St. Sol(a)*, **15**, 13 (1971).
- [21] Г.А. Иванов. Препринт ФТИ АН С.-Петербург, (1991).