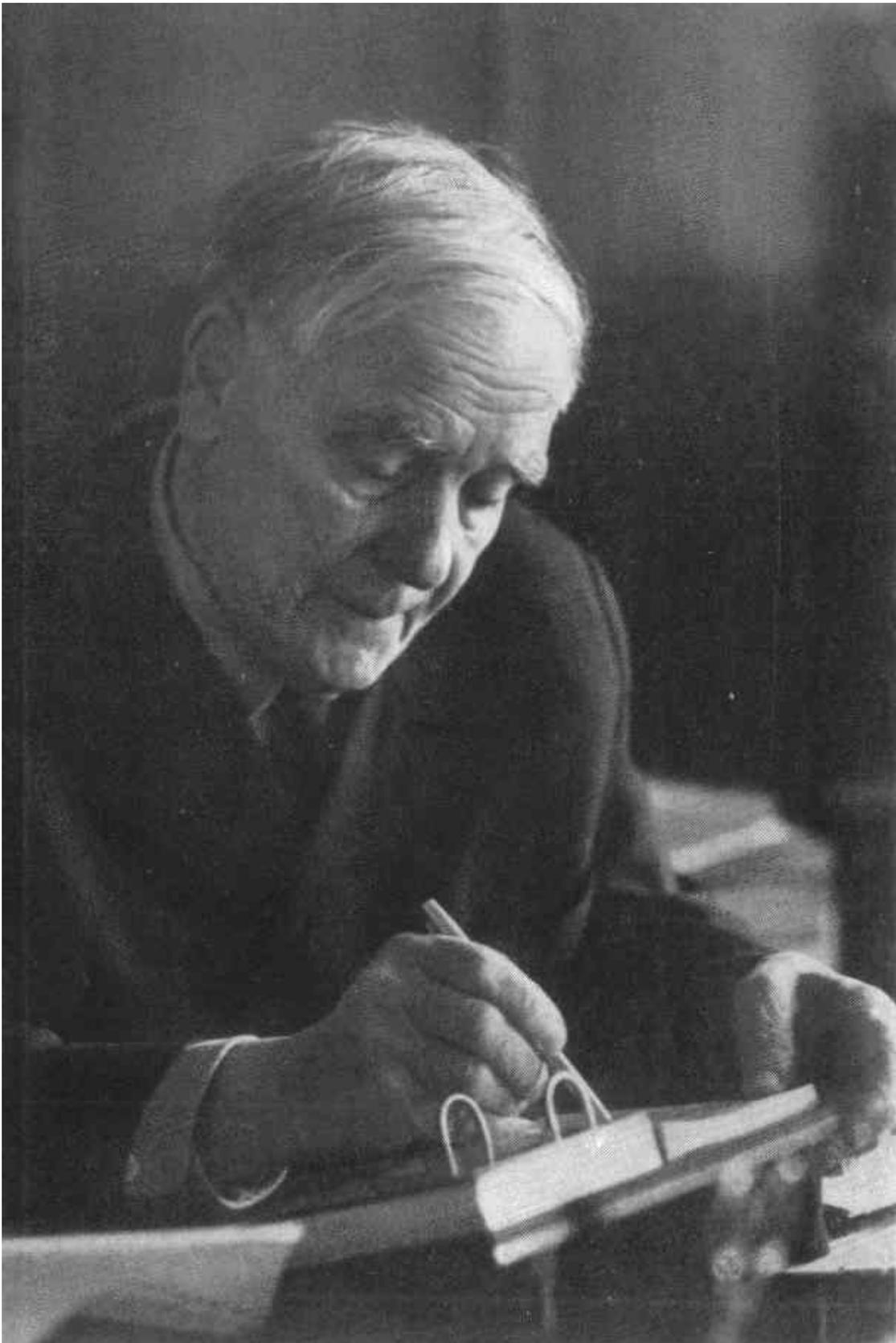




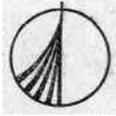
НАУКА
МИРОВОЗЗРЕНИЕ
ЖИЗНЬ

П. А. КАПИЦА

ЭКСПЕРИМЕНТ
ТЕОРИЯ
ПРАКТИКА



П. Л. КАПИЦА
ЭКСПЕРИМЕНТ
ТЕОРИЯ
ПРАКТИКА



НАУКА
МИРОВОЗЗРЕНИЕ
ЖИЗНЬ

Редакционная коллегия:
академик П. Н. ФЕДОСЕЕВ (председатель)
академик Е. П. ВЕЛИХОВ
академик Ю. А. ОВЧИННИКОВ
академик А. В. СИДОРЕНКО
академик Г. К. СКРЯБИН
академик А. Л. ЯНШИН
Е. С. ЛИХТЕНШТЕЙН (ученый секретарь)
АКАДЕМИЯ НАУК СССР

П. Л. КАПИЦА ЭКСПЕРИМЕНТ ТЕОРИЯ ПРАКТИКА

Статьи, выступления

Издание третье, дополненное



МОСКВА «НАУКА»
ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
1981

22.3 К 20

УДК 53

РЕДАКТОРЫ:

А. С. БОРОВИК-РОМАНОВ, П. Е. РУБИНИН

В книге собраны выступления академика П. Л. Капицы перед широкой аудиторией, в которых содержится простое и ясное изложение его экспериментальных исследований. В широко известных очерках о жизни и деятельности выдающихся ученых дается анализ их научного творчества, вскрываются объективные причины и индивидуальные черты, способствовавшие успеху их научной деятельности. В книгу вошли также статьи и выступления, посвященные вопросам организации науки, укреплению ее связи с практикой, творческому воспитанию молодежи, проблемам отношений человека и природы, борьбы за мир и прогресс.

Книга рассчитана на широкий круг читателей, интересующихся путями развития науки.

© Издательство «Наука».

К20401—093/053(02)-81 124-81. 1704010000

Главная редакция физико-математической литературы, 1974, 1977, 1981

ПЕТР ЛЕОНИДОВИЧ КАПИЦА

ЭКСПЕРИМЕНТ

ТЕОРИЯ

ПРАКТИКА

Серия: «Наука. Мировоззрение. Жизнь»

Редакторы *Д. А. Миртова, В. А. Григорова* Техн. редактор *И. Ш. Аксельрод* Корректоры *Т. С. Плетнева, Н. Д. Дорохова*

ИБ № 11937

Сдано в набор 13.02.81. Подписано к печати 16.07.81. Т-20094. Формат 84X1081/32. Бумага тип. № 1. Литературная гарнитура. Высокая печать. Условн. печ. л. 26,14. Уч.-изд. л. 28,05. Тираж 100000 экз. Заказ 1771. Цена 1 р. 20 к.

Издательство «Наука»

Главная редакция

физико-математической литературы

117071, Москва, В-71, Ленинский проспект, 15

Ордена Октябрьской Революции, ордена Трудового Красного Знамени Ленинградское производственно-техническое объединение «Печатный Двор» имени А. М. Горького Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 197136, Ленинград, П-136, Чкаловский пр., 15.

СОДЕРЖАНИЕ

Издательство

Предисловие

5

I

Сильные магнитные поля. Их получение и эксперименты с ними

13

Новый метод ожижения гелия

18

Проблемы жидкого гелия

22

Кислород

50

О природе шаровой молнии

65

Литература

71

Электроника больших мощностей

72

О некоторых этапах развития исследований в области магнетизма

79

Энергия и физика

97

Литература

109

Плазма и управляемая термоядерная реакция

110

Литература

128

II

Строительство и начало работы Института физических проблем

129

Организация научной работы в Институте физических проблем

142

III

Единение науки и техники

166

Планирование в науке

171

О лидерстве в науке

176

Комплексные научные проблемы

185

Эксперимент, теория, практика

189

Эффективность научной работы

196

Освоение достижений науки и техники

200

Столетие «Журнала экспериментальной и теоретической физики» и роль журналов в развитии науки

209

Литература

221

Основные факторы организации науки и их осуществление в СССР

221

IV

Физический опыт в школе

237

Физические задачи

238

Некоторые принципы творческого воспитания и образования современной молодежи

244

Литература

258

Профессор и студент

258

Слово к юбилею института

265

V

Памяти Эрнеста Резерфорда

271

Научная деятельность Резерфорда

272

Мои воспоминания о Резерфорде

288

<u>История одного портрета Резерфорда</u>	310	
<u>Роль выдающегося ученого в развитии науки</u>	316	
VI		
<u>Ломоносов и мировая наука</u>	324	
<u>Научная деятельность Вениамина Франклина</u>	345	
<u>Физик и общественный деятель Поль Ланжевен</u>	362	
<u>Альберт Эйнштейн</u>	372	
<u>Памяти Ивана Петровича Павлова</u>		376
<u>Александр Александрович Фридман</u>	379	
<u>Лев Давидович Ландау</u>	380	
VII		
<u>Задача всего передового человечества</u>	390	
<u>Философия и идеологическая борьба</u>	394	
<u>Будущее науки</u>	397	
<u>Глобальные научные проблемы ближайшего будущего</u>	421	
<u>Глобальные проблемы и энергия</u>	430	
<u>Научный и социальный подход к решению глобальных проблем</u>	445	
<u>Влияние современных научных идей на общество</u>	466	
<u>Литература</u>	484	
<u>Библиография трудов П. Л. Капицы</u>	485	
<u>Именной указатель</u>		

ПРЕДИСЛОВИЕ

Петр Леонидович Капица — ученый очень широкого профиля. Крупнейший физик-экспериментатор, он внес значительный вклад в развитие физики магнитных явлений, физики и техники низких температур, квантовой физики конденсированного состояния, электроники и физики плазмы.

Петр Леонидович родился в Кронштадте 9 июля 1894 г. в семье военного инженера. Свою научную деятельность он начал на кафедре А. Ф. Иоффе на электромеханическом факультете Петроградского политехнического института, который он окончил в 1918 г.

В своей первой оригинальной научной работе Петр Леонидович разработал новый метод приготовления волластоновских нитей — тонких (толщиной менее одного микрона) платиновых или золотых проволок, получаемых протяжкой в серебряной оболочке с последующим ее растворением. П. Л. Капица применил электролитический способ растворения серебра и этим уменьшил опасность обрыва тонких нитей. В следующей своей работе П. Л. Капица предложил оригинальную модель рентгеновского спектрометра, в котором интенсивность отраженных от кристалла рентгеновских лучей повышалась во много раз благодаря использованию эффекта фокусировки от кристалла с изогнутой цилиндрической поверхностью.

Третья опубликованная работа Петра Леонидовича была выполнена совместно с Н. Н. Семеновым. В этой работе был предложен метод определения магнитного момента атома, основанный на взаимодействии атомного пучка с неоднородным магнитным полем. Этот метод был затем осуществлен в известных опытах Штерна и Герлаха.

В 1921 г. П. Л. Капица был командирован для научной работы в Англию. Там он долгое время работал в Кавендишской лаборатории Кембриджского университета, директором которой был Э. Резерфорд. В 1923 г. Петр Леонидович впервые поместил камеру Вильсона в сильное магнитное поле и наблюдал искривление траекторий α -частиц. В этих исследованиях он столкнулся с необходимостью создания сверхсильных магнитных по-

5

лей. Он показал, что применение электромагнитов с железными сердечниками для этой цели бессмысленно и нужно переходить к катушкам, пропуская через них очень большой ток. Основная трудность, возникающая при этом, состоит в перегреве таких катушек. П. Л. Капица предложил оригинальный метод для преодоления этой трудности — создавать кратковременные магнитные поля пропусканием очень большого тока через катушки: за короткое время катушка не успевает нагреться. Испробовав различные источники тока, он остановился на специальной конструкции мотор-генератора. В этом генераторе энергия, необходимая для создания магнитного поля, накапливалась в виде кинетической энергии ротора. На своей установке Петру Леонидовичу удалось получить магнитное поле напряженностью 320 килоэрстед при длительности импульса порядка 10 миллисекунд. Принцип создания импульсных полей теперь широко используется во многих лабораториях. С развитием техники стало возможным использовать конденсаторы в качестве накопителей энергии, однако по величине магнитной энергии, полученной в катушке, результат П. Л. Капицы до сих пор является рекордным. Им были также разработаны оригинальные методы измерений различных физических параметров в импульсных полях.

Одним из основных результатов проведенных П. Л. Капицей исследований физических свойств вещества в сильных магнитных полях явилось открытие им линейного закона для зависимости от магнитного поля электрического сопротивления ряда металлов в очень сильных магнитных полях. Этот закон, открытый им в 1928 г., нашел теоретическое объяснение лишь спустя 30 лет, когда была обнаружена сложная топологическая структура поверхностей Ферми в металлах.

Петром Леонидовичем была исследована магнитоотрицательная пара- и диамагнитных веществ в сильных магнитных полях и открыта аномально большая магнитоотрицательная монокристаллов висмута. Он обнаружил очень сильную анизотропию этой магнитоотрицательности: при наложении магнитного поля вдоль тригональной оси висмут растягивался в направлении поля, а в поле, приложенном перпендикулярно оси,— сжимался. П. Л. Капица исследовал также эффект Зеемана в сильных магнитных полях и наблюдал эффект Пашена — Бака.

6

Дальнейшая научная деятельность П. Л. Капицы связана с физикой низких температур. И здесь он начал с критического рассмотрения существовавших тогда методов получения низких температур и разработал новую

оригинальную установку для ожижения гелия. В этой установке П. Л. Капице удалось избавиться от необходимости предварительно охлаждать гелий жидким водородом. Вместо этого гелий в его установке охлаждался, совершая работу в специальном расширительном детандере. Особенность этого поршневого детандера состояла в том, что смазку в нем осуществлял сам газообразный гелий. Практически все изготавливаемые в последнее время ожижители гелия строятся по принципу, предложенному П. Л. Капицей.

Для проведения исследований в сильных магнитных полях и при низких температурах в Кембридже была построена специальная лаборатория им. Монда Лондонского Королевского общества, директором которой был назначен П. Л. Капица.

В 1934 г. П. Л. Капица возвращается в Москву и организует здесь Институт физических проблем, оборудование для которого было закуплено Советским правительством в Англии благодаря помощи Э. Резерфорда. Здесь он продолжает исследования в сильных магнитных полях и по физике и технике низких температур.

В области техники низких температур Петр Леонидович разрабатывает новый метод ожижения воздуха с циклом низкого давления, в котором используется специальный турбодетандер, обладающий высоким коэффициентом полезного действия.

Разработанный П. Л. Капицей высокоэффективный радиальный турбодетандер с к.п.д. 80—85 % предопределил развитие во всем мире современных крупных установок разделения воздуха для получения кислорода, использующих только низкое давление.

В Советском Союзе работают и строятся мощные воздухоразделительные аппараты с использованием низкого давления, производительностью от 10000 до 65000 кубических метров кислорода в час. В промышленно развитых странах Запада на воздухоразделительных установках низкого давления, т. е. с использованием турбодетандеров типа предложенного П. Л. Капицей, ежегодно добывается более 50 млрд. кубических метров кислорода. Около половины получаемого кислорода ис-

7

пользуется в черной и цветной металлургии. Помимо металлургии, кислород широко используется в химической промышленности и ракетной технике.

Здесь уместно отметить, что работы П. Л. Капицы по сверхсильным полям и ожижителям демонстрируют редкое сочетание в одном человеке крупного ученого и инженера. Петр Леонидович одним из первых использовал в лаборатории крупные современные технические агрегаты и в то же время переносил последние достижения физики непосредственно в практику. Это было начало того процесса, который теперь развился в полной мере и является характерной чертой современной научно-технической революции.

В области физики низких температур П. Л. Капица начинает серию чрезвычайно изящных экспериментов по изучению свойств жидкого гелия. Результатом этих экспериментов было открытие Петром Леонидовичем в 1937 г. сверхтекучести гелия. Им было показано, что вязкость жидкого гелия при температуре ниже 2,19 К при его протекании через тонкие щели во столько раз меньше вязкости любой самой маловязкой жидкости, что она, по-видимому, равна нулю, и поэтому он назвал такое состояние гелия сверхтекучим. В ходе исследований аномальных свойств жидкого гелия П. Л. Капица поставил ряд необычайно тонких и наглядных экспериментов, доказывающих совершенно необычные свойства жидкого гелия при температуре ниже 2,19 К.

Работы П. Л. Капицы по изучению свойств жидкого гелия — блестящий образец подхода настоящего физика-экспериментатора к разрешению сложной проблемы. Когда читаешь его статьи, получаешь эстетическое удовольствие, следя за тем, как шаг за шагом, ставя всё новые эксперименты, Петр Леонидович приходит к фундаментальному открытию сосуществования в гелии двух жидкостей с совершенно различными свойствами, которые могут двигаться навстречу друг другу.

Это открытие положило начало развитию совершенно нового направления в физике, а именно квантовой физики конденсированного состояния. Для его объяснения пришлось ввести новые квантовые представления — так называемые элементарные возбуждения, или квазичастицы.

В процессе исследований теплопередачи в жидком гелии Петр Леонидович установил также следующий

8

важный факт: при передаче тепла от твердого тела к жидкому гелию на границе раздела возникает скачок температуры, величина которого сильно растет с понижением температуры, — так называемый скачок Капицы. Это также показало необходимость квантового подхода к описанию, казалось бы, столь классического явления, как явление переноса.

В 1946 г. был несправедливо осужден предложенный П. Л. Капицей метод получения кислорода, а он сам снят с поста директора и лишен возможности работать в созданном им Институте физических проблем. В эти трудные для него годы Петр Леонидович проявляет большое мужество, он организует у себя на даче маленькую домашнюю лабораторию и ведет в ней активные научные исследования. Сначала он проводит ряд изящных исследований по механике и гидродинамике, а в конце 40-х годов обращается к совершенно иному кругу физических задач — к вопросу о создании мощных генераторов СВЧ колебаний непрерывного действия. Петру Леонидовичу удалось решить сложную математическую задачу о движении электронов в СВЧ генераторах магнетронного типа.

На базе этих расчетов он конструирует СВЧ генераторы нового типа — планотрон и ниготрон. Мощность ниготрона составляет рекордную величину—175 кВт в непрерывном режиме. В процессе изучения этих мощных генераторов П. Л. Капица столкнулся с неожиданным явлением: при помещении колбы, наполненной гелием, в пучок излучаемых генератором электромагнитных волн в гелии возникал разряд с очень ярким свечением, а стенки кварцевой колбы плавилась. Это навело Петра Леонидовича на мысль, что, применяя мощные СВЧ электромагнитные колебания, можно нагреть плазму до очень высоких температур.

В 1955 г. П. Л. Капица возвратился на пост директора Института физических проблем. Несправедливые обвинения против него были официально сняты, и он продолжает в институте в широком масштабе работы по электронике больших мощностей и физике плазмы.

Он создал установку для получения стационарного высокочастотного разряда. Для этого он присоединил к ниготрону камеру, представляющую собой резонатор для СВЧ колебаний. Наполняя эту камеру газами (гелием, водородом, дейтерием) под давлением в 1—2 ат-

9

мосферы, Петр Леонидович обнаружил, что в центре камеры (где интенсивность СВЧ колебаний максимальная) в газе возникает шнуровой разряд.

Применяя различные методы диагностики плазмы, П. Л. Капица показал, что температура электронов плазмы в этом разряде составляет около 1 миллиона градусов. Эти исследования П. Л. Капицы, которые он интенсивно продолжает, открыли новый путь в решении задачи о создании термоядерного реактора, позволили ему произвести полный расчет такого реактора.

В первом разделе настоящей книги собраны доклады, лекции и статьи, в которых П. Л. Капица рассказывает о работах по сверхсильным магнитным полям, о создании новой оригинальной установки для ожижения гелия, о знаменитых опытах, приведших к открытию сверхтекучести гелия, и о проблемах получения и использования кислорода. В этом разделе публикуется также статья П. Л. Капицы «О природе шаровой молнии». Толчком к написанию этой работы послужил описанный выше эксперимент с возникновением разряда в поле излучения мощных генераторов. Здесь же публикуются введение к книге П. Л. Капицы «Электроника больших мощностей», вступительная речь на открытии Международной конференции по магнетизму, в Москве в 1973 г. и доклад «Энергия и физика», прочитанный на научной сессии, посвященной 250-летию Академии наук СССР. Завершает первый раздел книги Нобелевская лекция П. Л. Капицы, прочитанная им в Стокгольме в декабре 1978г. Эту лекцию он, вопреки традициям, посвятил не работам по физике низких температур, за которые ему была присуждена Нобелевская премия, так как этими вопросами он перестал заниматься с 1946 г., а проблеме управляемого термоядерного синтеза — проблеме, которой он активно занимается последние 30 лет.

Петр Леонидович Капица является не только выдающимся ученым, но и крупным организатором науки. Будучи директором Института физических проблем, членом Президиума Академии наук СССР, главным редактором ведущего физического журнала страны (ЖЭТФ), он отдает много сил конкретной научно-организационной деятельности. Как и в своей научной работе, он здесь выступает новатором, борющимся против бюрократических методов руководства и ищущим наиболее

10

прогрессивные методы в организации управления таким тонким механизмом, каким является коллектив творческих научных работников. Второй и третий разделы настоящей книги содержат выступления и статьи Петра Леонидовича, посвященные этой теме.

Во втором разделе публикуются доклады о создании и научном оборудовании Института физических проблем АН СССР и об организации научной работы в этом институте. Читатели старшего поколения вспомнят, что

многое, о чем говорил Петр Леонидович в конце 30-х и начале 40-х годов, в то время звучало очень необычно, а сейчас стало нормой работы в большинстве институтов.

В третьем разделе собраны выступления П. Л. Капицы по более общим вопросам организации и планирования науки и ее связи с производством.

Петр Леонидович Капица всегда уделяет большое внимание проблемам воспитания и отбора молодежи, способной к творческой научной работе. Он был одним из инициаторов создания Московского физико-технического института и является председателем Координационного совета этого института.

Петр Леонидович всегда сам проводит заседания Государственной экзаменационной комиссии по защите дипломов студентами МФТИ, выполнявшими свои дипломные работы в Институте физических проблем. Он также всегда сам принимает вступительные экзамены в аспирантуру и к каждому экзамену составляет набор задач для экзаменуемых. Особенность этих задач состоит в том, что они не имеют стандартного решения. В задачах всегда рассматривается конкретный физический опыт или явление. В процессе их решения экзаменуемый должен сам проанализировать, какие взаимодействия и эффекты в рассматриваемом явлении существенны, а какими можно пренебречь.

В четвертом разделе приведены некоторые из задач такого типа. Там же приведены выступления, посвященные проблемам творческого воспитания молодежи.

Пятый раздел сборника посвящен учителю и другу Петра Леонидовича Эрнесту Резерфорду. Здесь собраны статья о научной деятельности великого английского физика, доклад, прочитанный в Лондонском Королевском обществе, и ряд других материалов.

В шестом разделе книги собраны статьи П. Л. Капицы, посвященные ряду выдающихся ученых. Многие

11

из этих статей возникли в результате обработки его выступлений на юбилейных заседаниях, посвященных памяти этих ученых. Благодаря тому, что Петр Леонидович ко всякому своему выступлению относится весьма серьезно, он внес большой оригинальный вклад в область истории науки, проводя глубокий анализ научного творчества ряда ученых, стремясь вскрыть объективные причины и индивидуальные черты, способствовавшие успеху их научной деятельности. В статьях о людях, с которыми Петр Леонидович был близок (Э. Резерфорд, И. П. Павлов, П. Ланжевэн, Л. Д. Ландау), он рисует их яркие живые портреты.

Петр Леонидович Капица не только большой ученый и выдающийся организатор науки — он крупный общественный деятель. Его волнуют все аспекты развития человеческого общества. Он — член Советского национального комитета Пагуошского движения ученых за мир и разоружение и активно участвует в этом движении. Он неоднократно выступал по вопросам будущего развития человеческого общества, особенно в связи с такими актуальными проблемами, как борьба за разоружение, проблема загрязнения окружающей среды, энергетический кризис. Часть этих выступлений собрана в седьмом разделе книги.

Деятельность П. Л. Капицы высоко оценена Советским правительством: он награжден орденом Трудового Красного Знамени, шестью орденами Ленина и дважды удостоен звания Героя Социалистического Труда. Его работы дважды отмечены Государственной премией.

Велико международное признание заслуг Петра Леонидовича. Он является членом около тридцати академий и научных обществ мира. Более десяти университетов разных стран присудили ему степень почетного доктора наук. В 1978 г. П. Л. Капице за фундаментальные изобретения и открытия в области низких температур была присуждена Нобелевская премия по физике.

Несмотря на большую занятость научно-организационными и общественными делами, Петр Леонидович ежедневно работает в своей лаборатории. Его энергии и увлеченности работой могут позавидовать многие молодые ученые,

Академик А. С. Боровик-Романов

12

СИЛЬНЫЕ МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ. ИХ ПОЛУЧЕНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТЫ С НИМИ

Доклад на заседании Студенческого научного клуба Оксфордского университета,
1931

В свете современных знаний мы считаем, что структура атома, по существу, является динамической, т. е. атом представляет собой систему, в которой заряженные тела вращаются вокруг центрального ядра, причем свойства атома полностью зависят от числа электронов и вида их орбит. Следовательно, такие свойства, как, например, магнитные моменты, силы сцепления, спектры и т. д., можно изменить, если найти средство возмущать движение орбитальных электронов. Наиболее эффективно это можно сделать, воздействуя на атом внешним магнитным полем.

Внутреннее магнитное поле, создаваемое в атоме движением электронов по орбитам, очень велико, но, если было бы возможно получить внешнее поле такой же величины, очевидно, что движение электронов изменилось бы существенным образом, так как энергия связи между ними была бы того же порядка, что и возмущение, созданное полем; в этом случае мы должны были бы ожидать получения существенных результатов. Однако, когда мы переходим к оценке величины поля внутри атома, мы находим, что даже для наиболее слабо связанных электронов оно приближается к 1000000 Э. Такое поле примерно в 30 раз больше, чем обычно получаемое в лабораториях. Предметом моего исследования является разработка метода получения полей такого порядка величины.

Обычный путь создания сильного магнитного поля — использование электромагнита, но величина поля при этом жестко ограничена из-за насыщения железа.

13

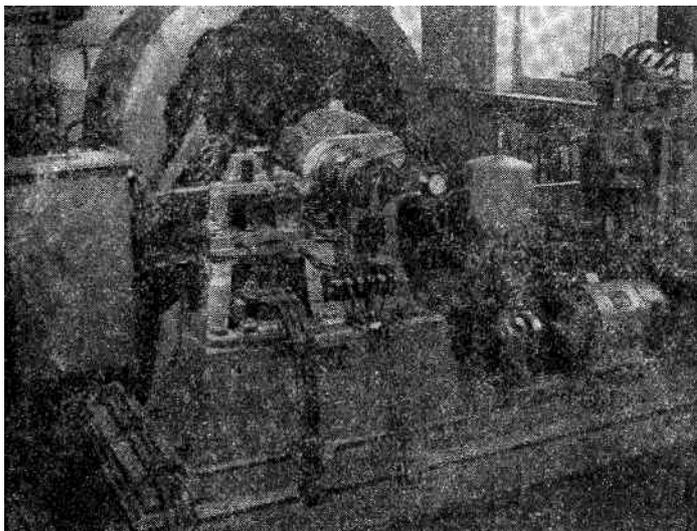
Увеличить поле можно, лишь чрезмерно увеличивая вес магнита и используемый ток. Самый большой магнит, который когда-либо был построен, — это магнит профессора Коттона: диаметр его железного сердечника почти 1 метр (в пространстве между полюсами может встать человек), и для его работы требуется громадный ток. Магнитное поле возрастает очень медленно с возрастанием размера электромагнита, и даже магнит профессора Коттона не создает поля больше 60000 Э в объеме, достаточном для проведения экспериментов.

Оказалось, что более успешным методом является использование катушек. При этом требуются очень большие токи, так как величина поля в катушке пропорциональна возбуждающему току. Очевидно, что для создания больших полей таким путем необходимо увеличивать ток, но при этом мы встречаемся с трудностями, поскольку, с одной стороны, нам нужен источник очень большого тока, а с другой стороны, величина тока в этом случае существенно ограничена нагреванием катушки током.

Одним из способов уменьшения теплового эффекта мог бы явиться отвод тепла по мере его выделения; другой способ — охлаждение катушки до очень низкой температуры. При этом значительно уменьшилось бы сопротивление, а в некоторых металлах оно даже упало бы до нуля, если бы металл стал сверхпроводником. В этом случае трудностью явилось бы то, что магнитное поле, созданное катушкой, разрушило бы сверхпроводящее состояние и очень быстро увеличило бы сопротивление до значения, близкого к его величине при комнатной температуре. Ни один из этих методов не кажется достаточно перспективным, и даже если их реализовать наиболее эффективным способом, они вряд ли позволили бы создать поле, большее $50\,000$ — $60\,000$ Э. Если предположить возможность изготовления эффективной катушки с внутренним диаметром в 1 см, то, как показывает расчет, для создания в такой катушке поля в 1000000 Э потребуется мощность в 50000 кВт, и катушка за 1 с нагреется до 10000°C ; ясно, что мы не можем работать с таким большим нагревом.

Основная идея нашего метода решения проблемы заключалась в том, чтобы сделать время существования поля очень коротким, так чтобы за это время катушка не могла перегреться. Практически это составляло $0,01$ с.

14



Конечно, такое условие создает новый ряд трудностей: во-первых, требуется очень большой ток, а во-вторых, все измерения нужно делать за очень короткий промежуток времени.

Наши первые эксперименты были сделаны с использованием аккумуляторной батареи, обладающей очень малой емкостью и малым внутренним сопротивлением. Таким способом мы смогли получить поле в 100000 Э, заряжая аккумуляторы в течение нескольких минут, а затем разряжая их за 0,01 с; но дальнейшее увеличение поля было невозможным, так как оказалось, что трудно достаточно быстро прервать ток в несколько тысяч ампер.

В наших последующих экспериментах, когда потребовались большие мощности, мы использовали однофазный генератор переменного тока (см. рисунок). Хорошо известно, что такая машина дает очень большие импульсы тока при коротком замыкании, чего в обычной практике тщательно избегают, так как это может вызвать серьезную аварию. Наша машина была специально сконструирована с противоположными целями, так, чтобы можно было получать большие импульсы тока при коротком замыкании,

15

Потребовались значительный пересмотр конструкции и тщательные расчеты, так как электродинамические силы могли бы легко привести к разрыву обмоток. Машина имела такие размеры, что ее мощность в непрерывном режиме составляла 2000 кВт, а при коротком замыкании при испытаниях она давала 220000 кВт. При коротком замыкании на катушку с таким же импедансом, что и у машины, только половина мощности может быть использована; половина ее теряется в машине, а другая половина идет в катушку. Таким образом и были получены требуемые 50 000 кВт.

Обычно ток в такой катушке никогда не оставался постоянным, но при определенной конструкции аппаратуры можно было получить волну тока с плоской вершиной, которая дает постоянное магнитное поле на несколько тысячных секунды.

Наибольшая трудность, с которой мы столкнулись, заключалась в том, что катушки стремились разорваться из-за электродинамических сил, старающихся увеличить их диаметр. Мы разработали метод укрепления катушек стальными бандажами и сконструировали катушку такой формы, чтобы электродинамические силы вместе с силами реакции со стороны бандажа сводились к однородному (гидростатическому) давлению на медь. Нагрузка внешнего бандажа теперешней катушки достигает 140 т.

Другой проблемой явилась разработка специального выключателя для прерывания тока синхронно с волной тока. Так как продолжительность тока составляла лишь 0,01 с, время, отведенное на переключение, составляло лишь несколько десятитысячных секунды, в течение которых контактная медная пластина выключателя должна была отойти на несколько миллиметров от его щеток.

Ускорение, требуемое для передвижения медной пластины весом в 1 кг на такое расстояние, примерно в 1000 раз больше ускорения свободного падения, а требуемая сила превышает тонну. Для этой цели использовался чрезвычайно прочный и тщательно сконструированный кулачковый вал.

Управление было организовано таким образом, что с помощью различных приспособлений после нажатия одной-единственной кнопки эксперимент проводился автоматически, а осциллограммы показывали значения

16

тока в катушках и тем самым позволяли измерить магнитное поле.

Затем нам пришлось преодолеть трудность, вызванную ударом при внезапной остановке генератора. При замыкании угловая скорость якоря, который весит 2,5 т, уменьшается на 10% за 0,01 с и возникает большой вращающий момент, который стремится повернуть всю машину на фундаменте. Чтобы избежать влияния этого удара на наши измерения, катушка помещалась в 20 м от генератора так, чтобы измерения заканчивались прежде, чем сотрясение достигало катушки.

Короткое время эксперимента привело к определенным трудностям при наблюдении и измерении, но в целом потеря во времени компенсировалась выигрышем в величине явления, наблюдаемого в очень сильных полях; оно также дало то большое преимущество, что практически исключило влияние изменения температуры на различные явления, так как в течение 0,01 с температура оставалась более или менее постоянной.

К настоящему времени мы изучили влияние сильных магнитных полей на различные явления; например, при исследовании эффекта Зеемана мы обнаружили, что расщепление линий оказывается столь велико, что можно использовать обычный призмный спектрограф, имеющий большую светосилу, а время экспозиции можно уменьшить до 0,01 с без существенного уменьшения точности результатов.

Оказалось, что большой интерес представляет изучение изменения сопротивления различных металлов в сильных магнитных полях; в некоторых случаях возрастание сопротивления составляло от 20 до 30%, в то время как в обычных полях возрастание не превышало долей процента. Более того, мы обнаружили, что в сильных полях наблюдается линейный закон возрастания сопротивления с возрастанием поля, в то время как в обычных полях возрастание сопротивления пропорционально квадрату поля.

Мы измерили также магнитную восприимчивость различных металлов в сильных полях. Для этой цели были разработаны и сконструированы специальные весы с собственной частотой около 2000—3000 колебаний в секунду. Так как в наших опытах магнитные силы были примерно в 100 раз больше, чем обычно, то весы

17

были достаточно чувствительны, чтобы измерять восприимчивость большинства веществ.

Другим направлением исследований явилось изучение магнестрикции. В обычных полях это явление известно лишь для ферромагнитных веществ, но в сильных полях мы обнаружили, что оно достаточно заметно в различных других веществах, таких, как висмут, олово и графит, которые имеют кристаллическую структуру низкой симметрии. Кристаллы висмута в сильных магнитных полях растягиваются в направлении тригональной оси и сжимаются в направлениях, перпендикулярных к ней.

Видно, что при исследовании различных явлений в сильных магнитных полях, существующих очень короткое время, открываются возможности решения широкого круга научных проблем, но для этого требуются специальная техника и аппаратура.

НОВЫЙ МЕТОД ОЖИЖЕНИЯ ГЕЛИЯ

Статья в журнале «Социалистическая реконструкция и наука»

1934

Для получения низких температур, близких к абсолютному нулю, пользуются в качестве охлаждающих агентов сжиженными газами. Жидкий воздух кипит при 81 К (-192 °С), водород — при 20 К, однако при самой низкой температуре из всех известных газов кипит гелий. Гелий становится жидким только при 4,2 К, но, заставляя его кипеть при пониженном давлении, удалось достигнуть температуры 0,8 К. Пользуясь магнитными свойствами сильно магнитных веществ, охлажденных до температуры жидкого гелия, удалось еще более приблизиться к абсолютному нулю; самая низкая достигнутая температура оказалась несколько ниже 0,1 К.

При низких температурах, получаемых посредством жидкого гелия, в твердых веществах тепловое движение атомов и молекул почти прекращается; благодаря этому их физические свойства сильно меняются и наблюдается много весьма интересных физических явлений, например открытое Камерлинг-Оннесом явление «сверхпроводимости».

18

Некоторые металлы, например свинец, ртуть, олово и др., при температуре жидкого гелия внезапно прекращают сопротивление электрическому току. Пока удалось только установить, что в сверхпроводящем свинце сопротивление току во всяком случае в сто тысяч миллионов раз меньше, чем в меди при комнатной температуре. Сопротивление в сверхпроводящем состоянии так мало, что ток, пущенный по замкнутому кольцу, циркулирует без заметного ослабления в течение многих дней.

Наибольшее затруднение, встречаемое при исследованиях в данной области, связано с получением жидкого гелия. Процесс этого получения длителен, требует сложной аппаратуры и опытного персонала.

Трудности, связанные с ожижением гелия, можно понять, рассматривая методы ожижения газов.

Для ожижения газов пользуются охлаждением газа при адиабатическом расширении и принципом тепловой регенерации. Сжатый газ перед пуском в расширительную машину пропускают через регенерационный теплообменник. После расширения охлажденный газ опять идет в теплообменник, где охлаждает газ, поступающий в расширительную машину. Температура поступающего в машину и выходящего из нее газа будет падать до температуры ожижения, и тогда часть газа выйдет из расширительной машины уже в жидком виде.

Описанный процесс ожижения газов до сих пор не мог быть применен для получения жидкого гелия вследствие технических затруднений, связанных с осуществлением расширительной машины.

В расширительной машине поршень должен двигаться в цилиндре по возможности без трения и представлять собою герметическую перегородку в нем. Оба эти требования можно удовлетворить только смазкой зазора между цилиндром и поршнем; но при температуре жидкого гелия и водорода все без исключения вещества не только тверды и не годятся для смазки, но большинство из них становятся хрупкими, как стекло. Поэтому для получения жидкого гелия и водорода до сих пор применялся другой метод, основанный на явлении Джоуля — Томсона. Посредством этого метода в 1898 г. Дьюар в Англии в первый раз ожижил водород, а Камерлинг-Оннес в 1908 г. в Голландии ожижил гелий.

Эффект Джоуля — Томсона заключается в том, что при известных условиях сжатый газ, даже не совершая

19

внешней работы, охлаждается, расширяясь после выпуска из крана в сосуд с меньшим давлением. Охлаждение происходит за счет внутренней работы преодоления силы притяжения между молекулами газа. Этим охлаждением пользуются совместно с уже описанным регенерационным теплообменом.

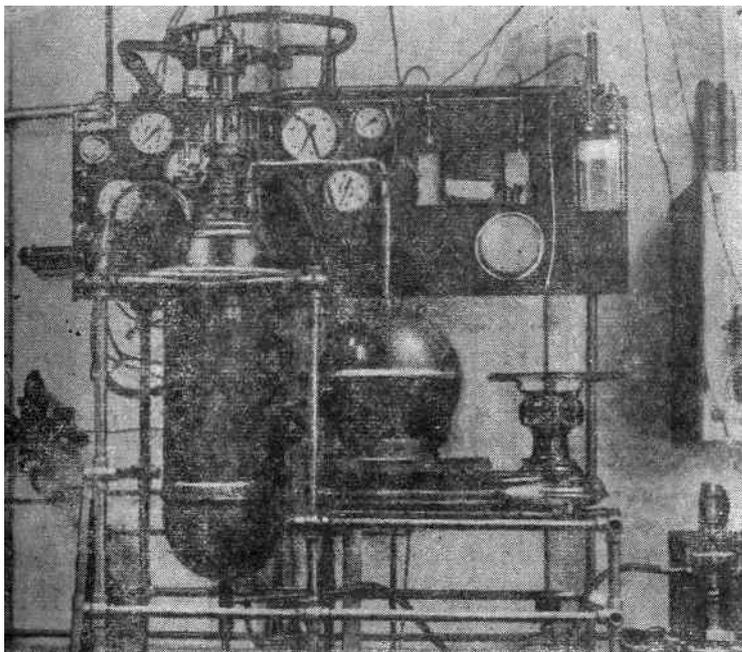
Главный недостаток этого метода — его чрезвычайно малая производительность ввиду малости самого эффекта Джоуля — Томсона. Так, воздух, сжатый до 30 атм, расширяясь до 1 атм, охладится от комнатной температуры на 17 градусов, тогда как при том же расширении, но произведенном адиабатически, он охлаждается на 165 градусов.

При охлаждении гелия этим методом дело обстоит хуже, чем с охлаждением сжатого воздуха; вследствие малости сил взаимодействия между атомами гелия эффект Джоуля — Томсона не только очень мал, но может быть использован, лишь когда гелий охлажден до очень низкой температуры. Поэтому после сжатия его надо предварительно охлаждать до температуры жидкого водорода, кипящего при пониженном давлении (14 К). Производительность этого метода в сто раз меньше, чем была бы при адиабатическом расширении. Кроме того, необходимо располагать большим запасом жидкого водорода и жидкого воздуха: приходится заготавливать свыше ста килограммов жидкого воздуха, на другой день готовить жидкий водород, и только на третий день добывают несколько литров жидкого гелия.

После года усиленной работы в нашей лаборатории нам удалось построить расширительную машину, в которой затруднения со смазкой преодолены. Мы отказались не только от смазки, но вообще от плотно двигающегося поршня. Поршень движется совершенно свободно в цилиндре, и это позволяет сжатому газу утекать через зазор между цилиндром и поршнем. Но машина устроена так, что время расширения газа составляет несколько сотых долей секунды и за это время газа утекает через зазор только 2—3 %.

Наша расширительная машина скорее напоминает взрывную машину. Поршень чрезвычайно быстро вылетает, но медленно возвращается в свое первоначальное положение. Кривошипный механизм для нас неприемлем и заменен специальным гидравлическим устройством,

20



Преодолев все технические трудности (подбор нехрупких материалов, клапанное устройство), нам удалось построить машину, к.п.д которой оказался равным 0,7 (см. рисунок). Поршень и цилиндр в ней совсем не срабатываются. По-видимому, те несколько процентов газообразного гелия, которые протекают через зазор, являются как бы газообразной смазкой. Таким образом, с нашим теперешним ожижителем предварительное охлаждение газообразного гелия производится только жидким воздухом. Хотя это принципиально не необходимо, но значительно ускоряет работу и уменьшает размеры теплообменников. Количество требуемого жидкого воздуха весьма мало: на каждый литр жидкого гелия требуется два литра жидкого воздуха и на весь день работы с жидким гелием не более 10—15 кг жидкого воздуха.

Коэффициент полезного действия нашего адиабатического ожижителя по крайней мере в 10 раз больше, чем прежних аппаратов. Но главная экономия — во

21

времени. Через два часа после пуска в ход ожижителя получается достаточно жидкого гелия, чтобы начать эксперименты. Все это настолько упрощает работу с жидким гелием, что он будет доступен для большинства лабораторий.

ПРОБЛЕМЫ ЖИДКОГО ГЕЛИЯ

Доклад на Общем собрании Академии наук СССР 1940

Я чувствую некоторое затруднение, приступая к изложению моих работ в области жидкого гелия. Большинство слушателей привыкло, конечно, к аналитическому мышлению, необходимому во всякой области научной работы, но я боюсь, что сами проблемы физики для многих из вас далеки.

Как всякую научную работу, и работу в области физики можно разделить на три части: первая — цель и задачи исследования, вторая — методы достижения этой цели и третья — полученные результаты и их значение.

Что касается второй части — методов, то в области физики они представляют большой интерес для исследователя и часто в них залог успеха. Но оценить методику работы, технику постановки опыта, методику и точность измерений для человека, не работавшего в лаборатории, и к тому же еще в данной области, мне кажется, очень трудно. Так же как трудно человеку, любящему и понимающему музыку, но не являющемуся музыкантом, оценить трудности техники исполнения музыкального произведения. Но, конечно, это ему не мешает наслаждаться музыкой, любить ее и интересоваться ею. Я думаю, что это замечание справедливо для всех родов творческой работы.

Поэтому я предполагаю в своем изложении остановиться главным образом на тех целях, которые преследовала постановка каждого опыта, и на тех результатах, к которым он нас привел. А о технике экспериментирования буду говорить только вскользь.

Цель всякого научного исследования определяется состоянием науки в данной области, и ясное представление об этом состоянии и вытекающих из него пробле-

мах необходимо иметь не только самому исследователю, но и тем, кому он рассказывает о своих работах. И вот тут я встречаюсь с большими трудностями.

Я боюсь, что физика является одним из наиболее слабых мест в научной подготовке широко образованного человека. В самом деле, мы хорошо знаем историю, мы все читаем таких больших историков, как Ключевский, Тарле, и других; большие концепции естествознания, как, например, дарвинизм, мы легко воспринимаем и поэтому также хорошо с ними знакомы. Технические вопросы также близки нам, так как техника связана с развитием промышленности, находящейся в центре общественного внимания; кроме того, технические приборы в виде радио, телефона, автомобиля и проч. входят в наш каждодневный быт. Но с ведущими концепциями физики, и, может быть, в еще большей степени это относится, к математике, дело обстоит значительно слабее.

Если мы спросим любого образованного человека о теории квантов и даже о более частных вопросах, как, например, о фотоэффекте, о спектрах и проч., или если математик спросит, что такое теория групп, учение о вероятности и т. п., то я думаю, что только в одном случае из десяти можно получить ответ, указывающий на общее знакомство с этими вопросами.

Мое положение затрудняется еще тем, что на сегодняшний день область моего доклада еще далека от жизни и мало известна. Дело в том, что в науке обычно можно выявить два рода изысканий, разницу между которыми позвольте пояснить аналогией. Изучая наши природные богатства, мы можем либо более глубоко развивать эксплуатацию уже открытых геологических пород, либо отыскивать в природе новые залежи. Конечно, оба рода работ чрезвычайно важны для нас, но оцениваем мы их по-разному. Когда мы уже знаем практическую цену разрабатываемой руды, вопрос использования ее уже близко связан с жизнью, тогда оценивать значение нового изыскания легко. Когда же работа ведет к открытию новых залежей руд, значение которых и ценность для жизни сразу определить трудно, то, очевидно, понимание и оценка значения таких работ значительно затруднены и производятся полностью только спустя значительный срок после самого открытия,

Такая же разница в характере работ наблюдается в большинстве областей научных исканий. Возьмем, например, в физике такое крупное открытие, как открытие индукции Фарадеем. Теперь мы знаем, что без него невозможны были бы все электромоторы, динамо-машины, которые покрывают густой сетью весь земной шар и необходимы для осуществления любого технического процесса. Но после открытия индукции до внедрения ее в жизнь прошло много десятилетий, и Фарадей и большинство его современников умерли без того, чтобы осознать колоссальное практическое значение этого научного достижения.

Подобных примеров можно указать очень много. Например, Герц, открывший радиоволны, отрицал даже возможность их применения для беспроволочной телеграфии, и он был вполне прав со своей точки зрения, потому что в его время не было известно о существовании в природе в верхних слоях атмосферы слоя, отражающего радиоволны и заставляющего их огибать земной шар, благодаря чему и возможна дальняя радиосвязь. Рентген, когда открыл лучи, названные его именем, из всех многочисленных применений этого замечательного излучения никогда не мог предположить, что они окажутся почти единственным пока терапевтическим средством для лечения рака. Поэтому, если научная работа ведет к отысканию в природе нового, неожиданного, мы не должны рассчитывать на исчерпывающую оценку этого явления сразу же. В данный момент мы можем базироваться в своей оценке только на неожиданности явления, т. е. на том, насколько основательно оно противоречит установившимся взглядам на природу вещей.

В физике, как и в других науках, существует ряд областей, которые более или менее полно охвачены теориями, гипотезами и предположениями. Развитие науки заключается в том, что в то время как правильно установленные факты остаются незыблемыми, теории постоянно изменяются, расширяются, совершенствуются и уточняются. В процессе этого развития мы неуклонно приближаемся к истинной картине окружающей нас природы, понимание которой необходимо для того, чтобы все более полно овладеть и управлять этой природой. Наиболее мощные толчки в развитии теории мы наблюдаем тогда, когда удается найти неожиданные

экспериментальные факты, которые противоречат установившимся взглядам. Если такие противоречия удастся довести до большой степени остроты, то теория должна измениться и, следовательно, развиваться.

Таким образом, основным двигателем развития физики, как и всякой другой науки, является отыскание этих противоречий. Отсюда мы получаем основу для объективной оценки научного достижения, не имеющего непосредственного применения на практике. Нахождение всякого нового явления в природе надо оценивать тем значительнее, чем больше изменений оно может потребовать от существующих в данное время взглядов или теорий.

Естественно, что правильное понимание значения работы наиболее важно установить самому исследователю, так как это направляет его искания. Мы думаем, что, именно руководствуясь этими соображениями, ученый-экспериментатор и должен составлять план своей работы, понимая этот план, конечно, в широком смысле, как общую целеустремленность.

Для того чтобы вы могли составить себе представление о цели и значении результатов наших работ по изучению свойств жидкого гелия, мне необходимо дать хотя бы самую общую картину тех теоретических взглядов, с которыми они связаны.

За последние 50 лет на развитие экспериментальной физики наибольшее влияние оказали два теоретических воззрения. Первое — это атомистический взгляд на вещество. Развитие этого взгляда, в особенности когда оно было объединено с термодинамическими законами, дало ряд блестящих обобщений, наиболее значительное из которых — это, конечно, кинетическая теория материи. Но такое успешное развитие в начале этого века пришло к одному из любопытнейших тупиков. Из развития теоретических обобщений выходило, что равновесие между веществом и излучением невозможно, так как получалось, что вся энергия теплового движения атома должна была непрерывно переходить в лучистую энергию. Это заключение хорошо известно физикам и носит обычно название парадокса Рэлея — Джинса. История развития этого противоречия поучительна, поэтому позвольте на ней остановиться.

В этом случае как-то особо резко проявилось различное отношение ученых к теории. Ведь существует целый

25

ряд физиков, которые склонны благодаря своему внутреннему консерватизму видеть в уже хорошо освоенных ими теориях нечто незыблемое и постоянное. Любопытно отметить, что это отношение к теории распространено гораздо больше на континенте, чем в Англии. Большинство ведущих английских ученых обычно отличается тем, что они главное значение придают эксперименту, рассматривая теорию как вспомогательное орудие. Более ста сорока лет тому назад еще Дэви сказал, что «один хороший эксперимент стоит больше изобретательности [Ньютоновского ума](#)». Эта фраза часто повторяется и по сей день. Любили ее цитировать такие современные ученые, как Дж. Дж. Томсон, Резерфорд. Ее надо рассматривать, конечно, как гиперболу, как лозунг протеста против обожествления теории. Любопытно, что противоречие Рэлея — Джинса получило в Германии название «катастрофы Джинса — Рэлея» — этим эпитетом как бы оттенялся роковой характер для теории этого замечательного научного противоречия.

Мы знаем, результат этой «катастрофы» был чрезвычайно плодотворен для науки. Из нее родилась теория квантов. Ее и надо считать для развития современной физики после атомизма вторым по своей значительности теоретическим воззрением. Если бы всякая катастрофа вела к таким крупным благотворным последствиям, как эта, то мы могли бы только пожелать, чтобы таких «катастроф» было больше. История показывает, что наука по-настоящему двигается вперед главным образом подобными «катастрофами» малого и великого порядка.

Как многим из вас, наверное, известно, первым нашел выход из этого тупика Планк. Выход был прост и на первой стадии показался большинству чисто формальным. Несколько преобразовав классическую формулу излучения, введя новую постоянную, Планк показал, что отсутствие равновесия между веществом и излучением можно было устранить. Но понять настоящий глубокий и универсальный смысл этой постоянной, носящей по сей день имя Планка, удалось несколько позже. Физика обязана этим Эйнштейну — он первый понял фундаментальное значение открытия Планка и дал ему более об-

26

щее физическое толкование, которое носит название закона Эйнштейна. Мне кажется, что по своим практическим последствиям для развития науки эта замечательнейшая работа Эйнштейна сыграла значительно большую роль, чем его знаменитая теория относительности.

От этих работ начала успешно развиваться теория квантов. Идеи теории квантов в самой общей форме можно описать так; происходящие в природе процессы надо рассматривать не, как прежде предполагалось, протекающими непрерывно; в действительности происходит последовательная смена элементарных состояний, в которых только и может устойчиво находиться материя, принимающая участие в процессах в природе.

Мы считаем теперь, что в природе процессы протекают прерывным образом, напоминая этим как бы атомное распределение массы в веществе. Может быть, теперь это нам кажется не так неожиданно, как это было вначале.

В самом деле, не только теоретически, но за последние годы и экспериментально между энергией и массой поставлен знак равенства — они могут переходить друг в друга. Если же вещество в природе встречается только в дискретных массах, такую же прерывность естественно ожидать и в энергетических процессах. Это, конечно, нельзя рассматривать как доказательство, но во всяком случае это указывает, что такая связь вполне естественна.

Как известно, на первой же своей стадии развития, главным образом благодаря идеям Бора, квантовая теория была чрезвычайно плодотворной при изучении атома. Строение и свойства атома мы знаем сейчас исключительно полно. Процессы лучеиспускания электронной оболочки атома описываются до больших деталей чрезвычайно точно.

Именно, главным образом разработка физики атома и привела к тому значительному развитию квантовой теории и к тем замечательным ее обобщениям, которые были даны Шредингером, Гейзенбергом и Дираком.

Интересно отметить, что математический аппарат, к которому привело квантовое описание процессов в природе, испытал значительное упрощение. Если бы нам пришлось, например, изучать такую систему, как атом, которая состоит из ядра, вокруг которого движется боль-

27

шое число электронов, теми приемами, какими мы пользуемся в небесной механике, то это привело бы к большим математическим трудностям, чем те, с которыми мы сталкиваемся сейчас.

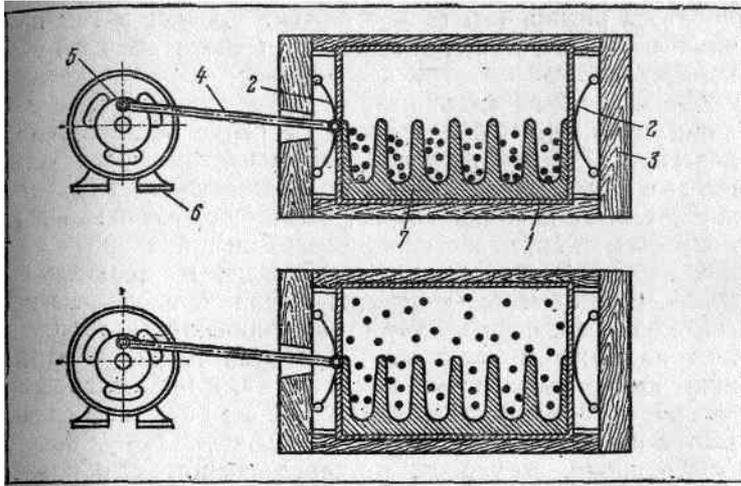
Но, несмотря на все эти успехи, было бы ошибочно думать, что квантовая теория закончена и не будет развиваться дальше. Тут может и должно быть большое развитие, и мы можем ждать даже фундаментальных изменений в наших основных представлениях.

ЕСЛИ мы хотим искать новые противоречия в природе, нам надо интересоваться как раз теми областями физики, в которых эти квантовые воззрения будут подвергаться наиболее основательному испытанию. С этой точки зрения, мне лично кажется, нам надо главным образом сосредоточиться на тех областях физики, где квантовые явления наименее изучены и поняты. Экспериментальному материалу изучения свойств атома мы обязаны созданием теории квантов, и он на сегодняшний день в основном исчерпан. Наиболее же интересны следующие две области физики.

Первая — это область атомного ядра. В ядре мы имеем элементарные частицы, расположенные на таких близких расстояниях друг от друга, что можно ожидать, что те законы, которые были выведены для больших расстояний между ними, как это происходит в оболочке атома, могут оказаться полностью себя не оправдавшими. Поэтому есть большая вероятность ожидать, что для ядерной физики теория квантов сегодняшнего дня потребует основательного развития.

Вторая область — это область изучения конденсированного состояния. По своей общности основные идеи квантовой теории, конечно, должны покрывать явления, происходящие в окружающих нас веществах, где атомы и молекулы, взаимодействуя между собой, образуют газы, жидкости и твердые тела. Но оказывается, когда мы изучаем вещество при комнатной температуре, квантовая природа процессов не может обычно выявляться. Тепловое движение атомов как бы ступшевывает те особенности в процессах, которые накладываются их квантовой природой, и они неощутимы. Это так же, как если бы на качающемся в море корабле мы вздумали изучать на бильярдном столе законы соударений шаров. Очевидно, эта затея осуществима только тогда, когда море спокойно. Так и при изучении квантовой природы явле-

28



ний, течения процессов, происходящих в конденсированном состоянии. Только тогда они себя полностью проявляют, когда тепловое движение атомов достаточно мало. Отсюда очевиден тот большой интерес в физике к изучению явлений в веществе при очень низких температурах — той области явлений при температуре жидкого гелия, о которой я буду рассказывать.

Чтобы более конкретно иллюстрировать эту мысль, позвольте показать вам очень простой опыт (см. рисунок). Хотя это только грубая иллюстрация сказанного, но, я думаю, она позволяет тем из вас, кто не привык к представлениям о тепловом движении, несколько более конкретно его себе представить. В проекционный фонарь вставлена рамка 1, в которой между двумя параллельными стеклами положено несколько десятков шариков от велосипедных подшипников. На рисунке они видны в виде черных кружочков. Эта рамка подвешена на ряде пружинок 2 к другой рамке 3 так, что может колебаться в своей собственной плоскости. Посредством шатуна 4 и кривошипа 5, сидящих на оси маленького электромотора 6, рамку можно заставить совершать горизонтальные колебания. При этом, как вы видите, шарики начнут бегать между стеклами. Их движение напоминает собой движение атомов при тепловом возбуждении. Чем быстрее мы заставляем ко-

29
 лебаться рамку, тем скорее бегают шарики и тем картина движения ближе соответствует более высокой температуре.

Теперь обратите внимание на некоторую деталь а конструкции рамки. В нижней ее части поставлен ряд перегородок 7, отделяющих от общего пространства шесть ямок. При небольших колебаниях рамки шарики, заключенные в каждой ямке, бегают только в ней и их движение не сказывается на движении шариков в соседних ямках. Это состояние изображено на верхнем рисунке. При быстром движении рамки, т. е. как бы при высокой температуре, мы получаем картину, изображенную на нижнем рисунке. Траектории шариков заполняют при своем движении всю рамку, и присутствие перегородок, образующих ячейки, как бы совсем не сказывается на этом движении.

Предположим теперь, что перед нами стоит обратная задача — обнаружить по движению шариков существование этих ямок, стенки которых были бы сделаны из прозрачного, невидимого материала. Очевидно, что мы могли бы это сделать, только изучая движение при малых колебаниях или покачиваниях рамки, т. е. при низкой температуре.

То же происходит и при изучении квантовых свойств в конденсированном состоянии. Ограничения движения шариков, которые накладываются перегородками рамки в нашей модели, несколько напоминают те, которые квантовая природа явлений накладывает на процессы в конденсированном состоянии атомов. При достаточно низкой температуре квантовая природа взаимодействия между атомами может проявить ряд физических явлений, которые при более высокой температуре не наблюдаются. Отыскание этих явлений и представляет тот исключительный интерес изучения свойств вещества при температурах, близких к абсолютному нулю.

Ожидания открытий новых свойств вещества при низких температурах уже себя оправдали. Еще в самом начале было обнаружено аномальное поведение тепло-, емкости тел и газов при низких температурах, которое, как показали Дебай и Эйнштейн, может быть объяснено квантовой теорией.

Согласно квантовой теории теплоемкость тел вблизи абсолютного нуля должна приблизиться к нулю; и действительно, например в области температур, где мы ра-

ботали, от 0 до 4 К, теплоемкость большинства тел в десятки тысяч раз меньше, чем при комнатной температуре. Интересно отметить, что только благодаря этому свойству вещества и возможно осуществлять те охлаждения, которые необходимы для экспериментальных работ при низких температурах. Дело в том, что жидкий гелий обладает очень малой теплотой испарения: она более чем в 1000 раз меньше, чем теплота испарения такого же объема воды. Подсчеты показывают, что при такой малой теплоте испарения практически невозможно было бы охлаждать тела, если бы они сохраняли ту же теплоемкость, которую они имеют при комнатной температуре.

Исследование физических явлений в области самых низких температур было начато Камерлинг-Оннесом, когда после больших трудов в 1908 г. ему удалось впервые оживить гелий.

Гелий был наиболее трудно сжижаемым газом. Это объясняется тем, что атомы его чрезвычайно симметричны и испытывают очень малые силы притяжения друг к другу. При нормальном давлении его точка оживления отстоит только на 4,2 градуса от абсолютного нуля. Подвергая гелий испарению путем понижения давления, можно понизить его температуру до 0,8 градуса от абсолютного нуля. Дальнейшее понижение температуры возможно недавно разработанным методом размагничивания парамагнитных солей. Так удалось подойти до нескольких тысячных градуса к абсолютному нулю. Можно надеяться, что в дальнейшем к абсолютному нулю можно будет подойти еще ближе, но достигнуть его принципиально невозможно.

Из ряда исключительно интересных физических явлений, наблюдаемых при низких температурах, пожалуй, самое интересное — сверхпроводимость, явление, о котором вы, несомненно, слышали. Оказывается, при некоторой очень низкой температуре некоторые металлы полностью теряют свое электрическое сопротивление. Ток, возбужденный в металле, может циркулировать сколь угодно долго, если металл остается при необходимо низкой температуре.

Это явление движения без трения электричества в проводниках, как показывает существующая теория, противоречит нашим обычным взглядам на движение электронов (носителей электричества в металле) через кри-

сталлическую решетку, так как это движение нормально должно происходить с потерей энергии.

Несмотря на ряд очень интересных попыток создать теорию этого явления, до сих пор еще этого никому не удавалось. Среди физиков существует единодушное мнение, что это явление обязано своим существованием квантовой природе явлений при низких температурах, но как оно ею обусловлено, до сих пор остается необъясненным.

Из других явлений при низкой температуре, не имеющих подобия при обычных температурах и также, по-видимому, связанных с их квантовой природой, наиболее интересными оказываются свойства самого гелия, о которых я предполагаю говорить более подробно.

Жидкий гелий имеет очень малый удельный вес: примерно в 7 раз меньше воды. Он чрезвычайно прозрачен и, например, по сравнению с водой, трудно видим.

Изучение свойств жидкого гелия привело к открытию целого ряда интересных явлений. Еще Камерлинг-Оннес обнаружил, что гелий имеет два состояния. Первое состояние — это нормальное, называемое гелий-I. Оно существует до температуры 2,19 К, ниже его модификация меняется. Оставаясь жидким, гелий переходит в состояние, называемое гелий-II. В этой модификации он остается до самых низких температур, пока достигнутых.

При внимательном рассмотрении гелий-I представляет кипящую жидкость, потому что даже свет, падающий на него, уже заставляет его кипеть. Чтобы защитить его от окружающего тепла, сосуд с жидким гелием окружают двумя рядами вакуумных оболочек, между которыми налит жидкий воздух. Без этих предосторожностей жидкий гелий испарился бы в несколько десятков минут.

Второе состояние гелия резко отличается от первого. Гелий-II не кипит, и на вид его свободная поверхность образует совершенно неподвижную плоскость. Гелий-II обладает рядом совершенно исключительных физических свойств. Из них, пожалуй, самым замечательным свойством является его чрезвычайно большая теплопроводность, обнаруженная Кеезомом и его дочерью. Это явление было обнаружено, когда теплопроводность ге-

лия-II мерилась в тонких трубках (капиллярах). Наиболее теплопроводными веществами, которые нам известны при комнатной температуре, являются металлы, из них наиболее теплопроводны медь и серебро. Многие из вас, наверное, испытали на опыте, что если нагревать конец медного стержня и держать его за другой конец в руке, то легко можно обжечь себе руку. Так вот, гелий в капиллярах оказался теплопроводнее, чем медь, больше чем в миллион раз. Совершенно естественно, что Кеезом назвал это свойство по аналогии со сверхпроводимостью металлов — сверхтеплопроводностью.

Опытами, проводившимися в Канаде, было также показано, что у жидкого гелия-II очень малая вязкость — она в несколько раз меньше, чем у гелия-I.

Вязкость — это свойство жидкости, определяющее ее текучесть. Если через одну и ту же трубку под одним и тем же напором мы будем пропускать разные жидкости, то легко убедимся, что одни из них будут протекать легче, другие — труднее. Чем хуже протекает жидкость, тем меньше ее текучесть, тем больше в ней вязкость. Следовательно, вязкость есть как бы мерило внутреннего трения при течении. Из опыта мы, например, находим, что у масла большая вязкость, у смолы еще больше, а у воды меньшая вязкость. Если поставить точный эксперимент, то мы найдем, что у газа есть вязкость, хотя она мала. Оказалось, что у жидкого гелия она примерно в 1000 раз меньше, чем вязкость воды, и при переходе гелия-I в гелий-II даже было наблюде-но некоторое уменьшение этой вязкости.

Это явление нас очень заинтересовало. Как нетрудно показать, в этих свойствах жидкого гелия можно найти противоречие с нашими обычными представлениями о механизме вязкости и теплопроводности.

В самом деле, как себе представить механизм теплопроводности? Мы считаем, что тепло есть движение атомов в веществе. Когда одна часть тела более нагрета, чем другая, атомы в ней приобретают более энергичное колебательное движение, чем в другой. Благодаря силам взаимодействия более энергичное движение атомов нагретой части тела передается менее нагретой. Неравномерность в энергии колебаний как бы стремится выравняться по всему телу, и это влечет за собой то, что тепло распространяется по всему телу. Значит, теплопроводность надо рассматривать как способность

33

атомов передавать свои колебания друг другу, и чем больше это свойство передачи, тем больше значение теплопроводности данного вещества.

Теперь попытаемся представить себе механизм, обуславливающий вязкость. При течении, например, в трубке слой жидкости, прилегающий к стенке, неподвижен, следующий слой уже движется с некоторой скоростью, над ним движется другой слой с несколько большей скоростью и т. д. Между этими слоями существует скольжение, которое происходит с трением. Это трение вызывается тем, что атомы одного слоя в своем движении отстают от атомов следующего слоя и благодаря тем же силам взаимодействия мешают движению. В результате получается потеря энергии, которая и обуславливает вязкость жидкости. Из такой картины следует, что вязкость должна быть тем больше, чем больше движение атомов одного слоя влияет на движение атомов другого слоя, т. е. чем легче в теле распространяется тепло.

Поэтому при увеличении в веществе его теплопроводности естественно ждать также и увеличения его вязкости, а не наоборот, как это происходит в гелии. Спрашивается, почему же при таком колоссальном увеличении теплопроводности гелия-II вязкость его уменьшается?

Чтобы разрешить это противоречие, мы выдвинули предположение, что большая теплопроводность, которую наблюдал Кеезом, является только кажущейся. В самом деле, известно, что существуют два механизма теплопередачи. Один — это теплопередача от атома к атому, как мы описывали и какая наблюдается в твердом теле, а другой же механизм теплопередачи — это конвекция. Положим, вы будете держать руку над горячим источником, например радиатором, — вы сразу почувствуете тепло, так как поток нагретого воздуха будет переносить тепло к вашей руке. Такой перенос тепла вместе с движущимся потоком вещества и называется конвекцией. Если же руку поместить под радиатором, то никакого тепла не почувствуется, так как поток теплого воздуха идет кверху, а обычная теплопередача воздуха очень мала. В такой плохо-теплопроводной среде, как воздух, обычная теплопередача только и происходит благодаря конвекционному переносу. Так и у гелия с его большой текучестью естественно предположить, что будет легко происходить конвекционная теплопередача, и таким ме-

34

ханизмом переноса тепла и могла бы объясняться большая теплопроводность, которую наблюдал Кеезом.

Подсчеты сразу же показали, что для того, чтобы объяснить большую теплопередачу конвекционными потоками, вязкость гелия-II должна быть значительно меньше той, которая была измерена учеными в Канаде. Но тут надо отметить, что малая вязкость — величина, довольно трудно поддающаяся измерению. Теория показывает, что истинное значение вязкости может быть как бы затушено присутствием в жидкости так называемого турбулентного движения, т. е. вместо того, чтобы иметь при измерениях спокойное течение, на самом деле на него накладываются движения от вихрей, которые, как можно показать, исказят результаты измерений, так что полученная величина может оказаться во много раз больше истинной.

Вопрос этот чисто экспериментальный, я не буду его подробно касаться, так как он требует довольно детального описания техники [измерений](#). Скажу только, что мы под этим углом зрения снова произвели измерения вязкости гелия. Нам удалось построить вискозиметр (прибор для измерения вязкости), который имел очень узкую щель, всего в полмикрона (микрон — тысячная доля миллиметра), через которую протекал гелий. Поставив опыт таким образом, можно было в значительной мере избежать вредного влияния вихрей, и тогда удалось показать, что наблюдаемая вязкость гелия-II была по крайней мере в тысячу раз меньше, чем ее определяли прежде.

Можно было также показать, что то значение для вязкости, которое мы получили, является только возможным верхним пределом: на самом деле истинное значение вязкости могло быть сколь угодно меньше, т.е. даже в нашей узкой щели мы не могли доказать, что полностью удалось исключить вредное влияние турбулентного движения. Эта работа была нами опубликована 3 года тому назад, и она вызвала целый ряд обсуждений и критику.

Первым делом начали искать возможные ошибки в методике этой работы. И тут поучительно рассказать об одном возражении, выдвинутом против нас.

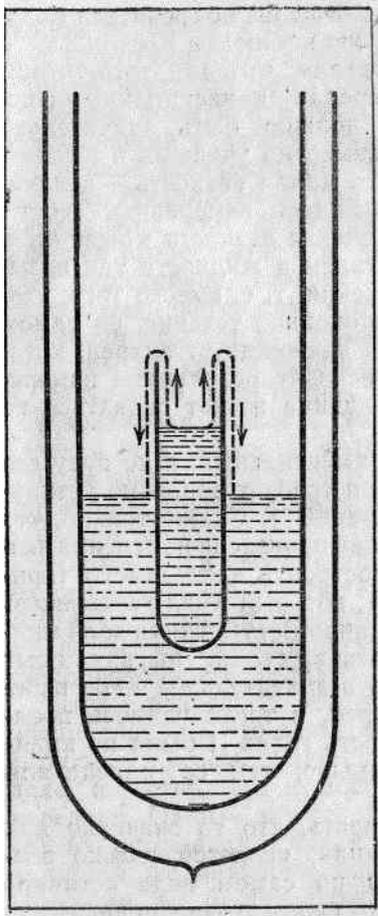
35

Эта критика базировалась на другом, чрезвычайно любопытном свойстве гелия-II — ползти в пленках по стенкам сосуда. Если уровень гелия-II в пробирке, изображенной на рисунке, выше уровня окружающего гелия, то оказывается, что уровни довольно быстро выравниваются. Это явление изучено, и показано, что гелий легко переползает по поверхности в виде очень тонкой пленки. Наши опыты критиковали за то, что в своем вискозиметре я мерил не вытекание гелия из сосуда через щель, что на самом деле вытекание происходило путем переползания, а потому полученные мною данные для вязкости занижены. На самом деле при экспериментировании я учитывал возможность ошибки, вызванной этим явлением. Но интересно отметить, что эта критика, данная учеными в Америке и в Канаде, упустила

из виду, что гелий может переползать в тонкой пленке, толщиной, по измерениям Кикоина и Лазарева, меньше сотой доли микрона, и только тогда, когда его вязкость в миллион раз меньше, чем тот предел, который был уже дан нами. Получалось так, что критика большой текучести гелия основывалась на явлении, для объяснения которого требовалась еще большая текучесть.

Мы предложили принять, что гелий-II — идеально текучая жидкость, и по аналогии со сверхпроводимостью назвали это свойство *сверхтекучестью*.

36



Казалось бы, что теперь появилась возможность объяснить аномальную теплопередачу гелия-II его сверхтекучестью. Но когда экспериментальные данные были подвергнуты более тщательной количественной обработке, то появились новые затруднения, на которых я и хочу сейчас остановиться более подробно. Вычисления показали, что для объяснения тех значений теплопроводности, которые наблюдал Кеезом, скорость конвекции нужно было принять равной примерно 50 м/с. Это уже большая скорость, и потому я хотел ее измерить более точно.

Для этого был поставлен ряд опытов, в которых была разработана методика более чувствительного измерения больших значений теплопроводности гелия-II, чем это делалось Кеезомом. Нам удалось улучшить технику измерения разниц температур, доведя ее до измерения нескольких миллионных градуса. Описание этой техники отвлекло бы нас в сторону, поэтому я о ней говорить не буду.

Таким образом нам удалось наблюдать теплопередачу, которая была по крайней мере еще в 20 раз больше, чем наблюдаемая Кеезомом. Следовательно, конвекционная скорость, необходимая для объяснения этой теплопроводности, должна быть уже не 50, а порядка 1000 м/с. Очевидно, что существования таких скоростей в конвекционных потоках допустить нельзя. Немыслимо предположить, что гелий в капилляре двигается со скоростью, которая превышает скорость полета пули. Можно было показать, что отсутствуют источники энергии для таких мощных конвекционных потоков.

Полученные нами результаты, оказывается, вели к еще более фундаментальным затруднениям, чем это кажется на первый взгляд, если механизм теплопередачи путем конвекции отпадал. Если мы вспомним тот обычный механизм теплопроводности, который мы описывали раньше как передачу теплового движения от одних атомов к другим, можно показать, что и в этом случае мы наталкиваемся на основное противоречие.

Вернемся на время к этой картине теплопроводности. Положим, у нас имеется слой атомов, который внезапно нагрет, и атомы в нем колеблются более интенсивно, чем в соседних. Эти колебания будут передаваться от одного слоя к другому, и, таким образом, мы получим тепловую волну, распространяющуюся по телу от

нагретого места. Показано, что распространение подобной тепловой волны не может быть скорее распространения в теле упругих колебаний, т. е. звука. Скорость звука в гелии-II изучена и найдена равной 230

м/с, в то время как скорости, которые мы получили от тепловых измерений, как оказалось, в несколько раз превосходят ее, что противоречит условиям такого способа теплопередачи.

На поиски выхода из этих противоречий мы затратили около года.

Как же дальше искать механизм этой теплопередачи, не имея никакой руководящей идеи? Ведь наши результаты в основном противоречили всем известным теоретическим представлениям.

Тут пришлось идти ошупью, пробовать самые разнообразные физические факторы, под влиянием которых, может быть, будет меняться теплопроводность. Мы испробовали влияние на теплопередачу в гелии-II давления, силы тяжести, времени и т. д. Результаты получились отрицательные — теплопроводность не изменялась, оставаясь такой же большой.

Наконец, одно совершенно случайное наблюдение дало нам сразу новое направление в работе. Оказалось, что пульсации давления, совершенно случайно передаваемые из лабораторной сети гелиевого трубопровода на гелий в капилляре, сильно изменяли его теплопроводность. Хотя пульсации были очень малы, но они уменьшали теплопроводность гелия-II в десятки раз. Возникает вопрос: как эти небольшие пульсации давления могут так сильно влиять на теплопроводность гелия?

Наиболее естественное объяснение было следующее. Известно, что жидкий гелий-II — сравнительно легко сжимаемая жидкость — примерно в сто раз легче, чем вода. Благодаря этому свойству пульсации давления, сжимаемая жидкость, могли вызывать потоки гелия в капилляре, где изучалась его теплопроводность. Мы и предположили, что эти потоки влияют на теплопроводность. Чтобы проверить правильность этого объяснения, надо было поставить опыты, где измерялась теплопроводность гелия, когда он протекает через капилляр. Когда это было сделано, то оказалось, что действительно в гелии-II, текущем в капилляре, теплопроводность уменьшена в 100 и даже в 1000 раз. Эти эксперименты также обнаружили, что пока через гелий в ка-

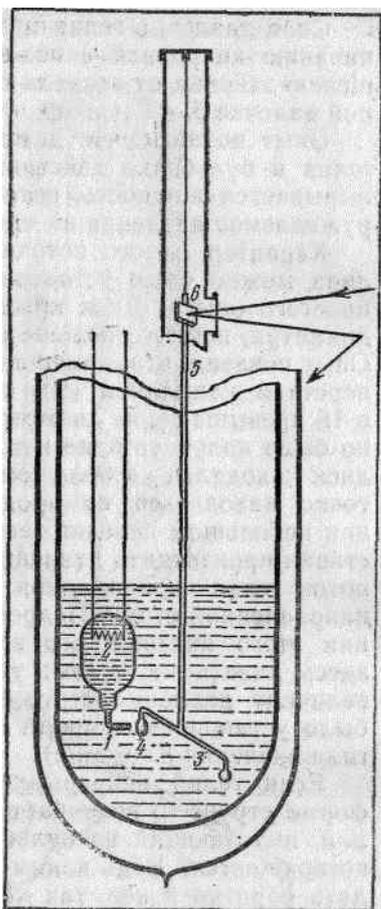
38

пилляре течет тепло, то он легко протекает. Этим была установлена связь между потоками жидкого гелия и его способностью переносить тепло, и это явилось ключом к дальнейшим исследованиям.

Действительно, если потоки гелия влияют на теплопроводность, то возможно, что и передача тепла вызывает потоки. Сразу возник вопрос: как экспериментально обнаружить потоки гелия в тонком капилляре, диаметр которого был только 0,5 мм? Это задача трудная, но можно было ожидать, что эти потоки могли прорываться наружу у свободного конца капилляра, и там их можно было обнаружить.

Для этой цели был построен приборчик, который схематически изображен на рисунке.

Стеклянная капиллярная трубочка 1 помещалась горизонтально. К ее концу, загнутому кверху, припаивалась стеклянная бульбочка 2, в которой помещался нагреватель. Против свободного конца капилляра на легком коромысле 3 подвешивалось крылышко 4 в форме диска. Коромысло подвешивалось на длинной стеклянной палочке 5 посредством тонкой кварцевой нити. Коромысло и бульбочка с капилляром помещались в сосуде Дьюара значительно ниже уровня гелия-II. Если из конца капилляра при нагревании гелия бульбочке вырывалась жидкость, то она, ударяясь крылышко, могла давить на него, и крылышко должно было отклониться.



39

Сила давления гелия могла быть измерена по закручиванию кварцевой нити, которое определяли по смещению зайчика от зеркала б, прикрепленного к стеклянной палочке 5.

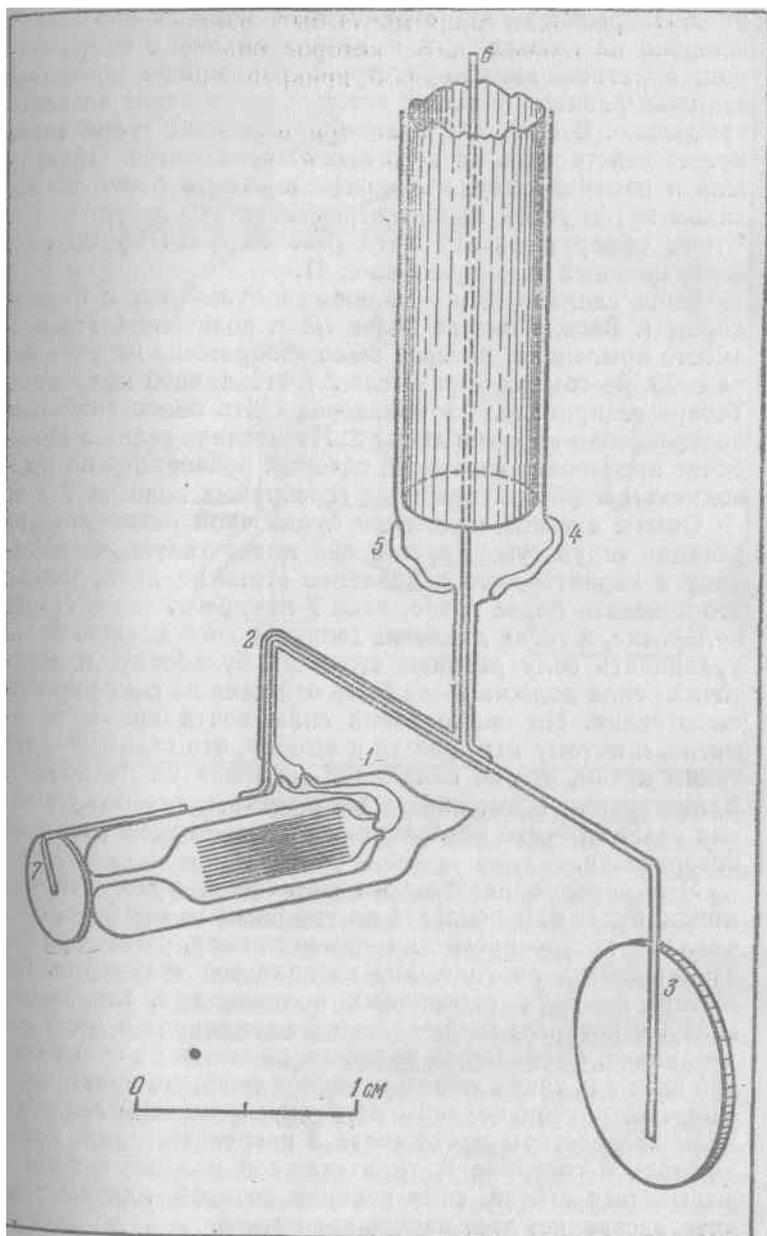
Опыт показал, что даже при малейшем нагревании гелия в бульбочке действительно из конца капилляра вырывается жидкость, которая производит легко обнаруживаемое давление на крылышко.

Характер самого потока гелия из отверстия капилляра можно было установить посредством следующего простого опыта. Диск крылышка 4 был сделан малого диаметра, немного больше отверстия самого капилляра. Опыт показал, что, помещая этот диск почти рядом с отверстием капилляра или на большем расстоянии, раз в 15 превышающем диаметр отверстия капилляра, можно было получить одно и то же давление. Только когда диск находился на большом расстоянии, он должен был точно находиться на продолжении линии капилляра; при небольшом передвижении его в сторону гелий переставал производить давление. Этот опыт показывает, что поток гелия из капилляра вырывался в форме хорошо направленной струи. Подробного количественного изучения этого явления, его зависимости от нагрузки мы здесь давать не будем; укажем только, что, измеряя величину давления струи гелия на крылышко, можно было установить скорость вытекания гелия (она достигала значения 5—6 см/с).

Если гелий непрерывно вытекает из капилляра в форме струи, то возникает вопрос: как пополняется гелий, вытекающий из бульбочки, каким путем он в нее возвращается? Ведь каким-то образом он должен попадать обратно в нее, так как количество жидкого гелия в бульбочке не убывало. Единственным путем, очевидно, является тот же капилляр, и казалось бы, что если мы поставим крылышко достаточно близко от наружного отверстия, то входящий гелий тоже должен был бы давить на крылышко. Но опыт показал, что если мы приближали крылышко насколько только возможно ближе к отверстию капилляра, то струя давила на него с такой же силой, как и на большом расстоянии. Значит, гелий заползал в капилляр в очень тонком слое, окружающем отверстие.

Чтобы более точно изучить путь вползания гелия, мы ставили опыты, основанные на следующих рассужде-

40



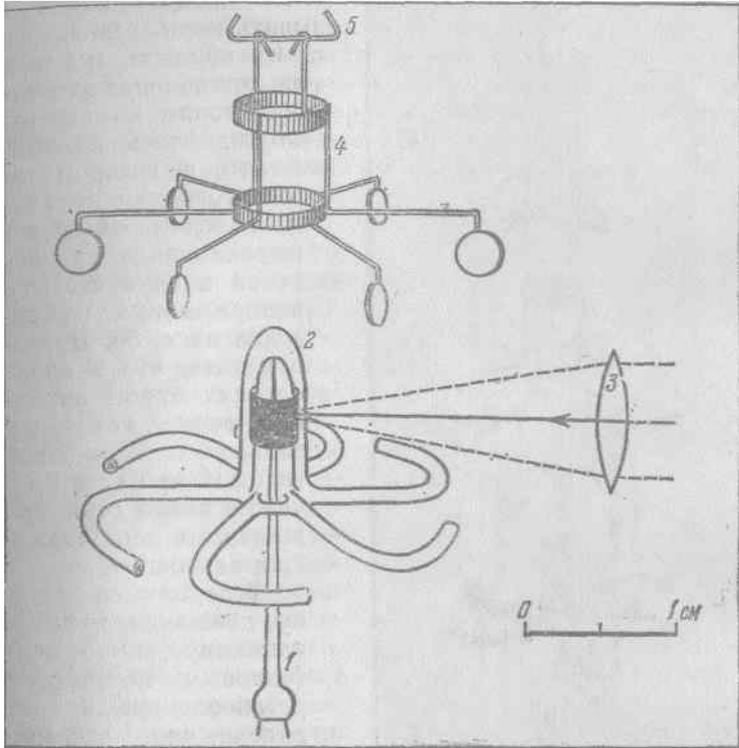
41

ниях. Вырывающаяся струя гелия должна оказывать реакцию на капилляр, т. е. вызывать силу в направлении, обратном движению струи. Как можно показать, эта сила равняется силе, с которой струя давит на наше крылышко. Втекающий в капилляр жидкий гелий тоже может действовать на него с некоторой силой. Обнаружив и измерив силу, мы можем выяснить более точно, каким путем гелий входит через капилляр в бульбочку. Чтобы обнаружить эту силу, был построен приборчик, изображенный на рисунке на с. 41.

Была сделана очень маленькая бульбочка с капилляром 1. Весила она не более $1/4$ г, подвешивалась она вместо крылышка, которое было изображено на рисунке на с. 39, на том же коромысле 2 к стеклянной палочке 6. Теперь ее приходилось уравнивать более тяжелым противовесом в форме диска 3. Нагревание гелия в бульбочке производилось током, который подводился по проводникам в форме тоненьких серебряных полосок 4 и 5. Опыты с такой подвесной бульбочкой показали, что реакция струи существует и она имеет такую же величину и характер, что и давление струи на диск. Чтобы это показать более точно, диск 7 прикреплялся к самой бульбочке, и тогда давление гелия на диск должно было уравнивать силу реакции струи на бульбочку, и остаточная сила должна была быть отнесена за счет втекающего гелия. На опыте такой силы почти не было заметно, и потому мы пришли к выводу, что гелий втекает таким путем, что не оказывает давления на бульбочку. Единственная возможность вхождения гелия без оказания реакции — это вползание его очень тонким слоем по поверхности.

Это явление настолько интересно и ярко, что его можно будет вам показать на упрощенном приборе, специально построенном для демонстрации. Этот прибор изображен на рисунке. Мы назвали его «паучком». Он состоит из двух стеклянных колпачков 2, запаянных внизу, к которым прикреплено 6 капилляров в виде ножек паука. Стеклянный колпачок покоится на очень острой игле 1 и, таким образом, может свободно вращаться. Конечно, паучок целиком погружен в жидкий гелий-II. Если посредством пучка света 3 нагревать гелий, находящийся в сосудике 2, то из каждой ножки он начнет вырываться струей, сила реакции которой, как вы увидите, заставляет этот паучок вращаться,

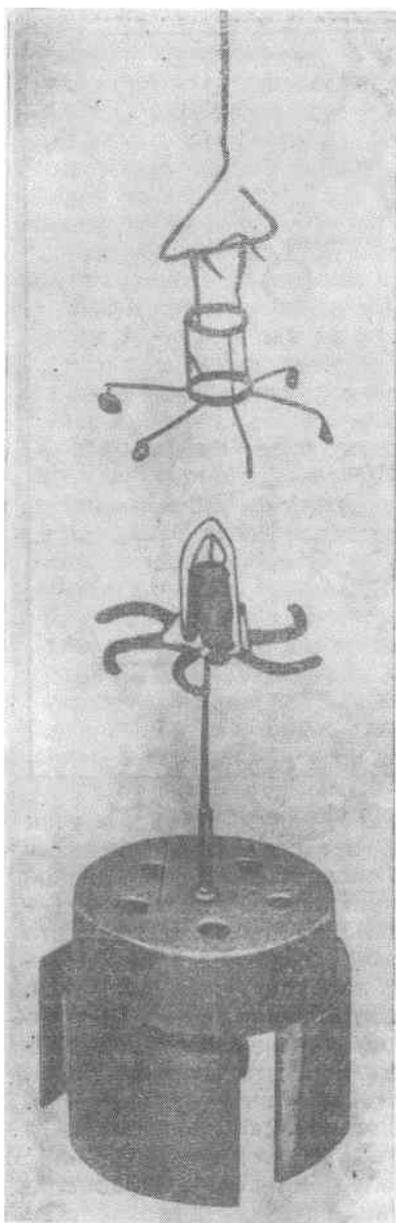
42



Если теперь, опуская петлю 5, надеть на наш паучок два очень легких колечка 4, к которым на тоненьких проволочках прикреплены по числу капилляров 6 дисков так, что каждый из дисков прикроет на расстоянии 1—2 мм отверстие каждого капилляра, то мы увидим, что в таком состоянии наш паучок, когда мы будем подогревать гелий пучком света, не будет уже вращаться. Этот приборчик показан на фотографии на стр. 44. Из этих опытов мы получили картину движения жидкого гелия в капилляре, производимого потоком тепла. Схема этого движения представлена на рисунке на с. 45.

В бульбочке 1 происходит нагревание гелия, в капилляре образуется поток, и он вырывается наружу в виде струи 2. Входящий гелий ползет по стенке капилляра в обратном направлении в виде тонкой поверхностной пленки 3, а в бульбочке происходит переход гелия с

43



поверхности опять в свободный гелий. Таким образом, мы имеем тут явление вползания гелия по поверхности, очень похожее на то, о котором мы уже говорили вначале и которое объясняет выравнивание уровней гелия в двух сосудах, изображенных на рисунке на с. 36. Нужно отметить, что в обоих случаях такое движение гелия возможно, только если жидкий гелий-II при своем течении ведет себя как жидкость, не обладающая вязкостью. Теперь, имея картину движения гелия в капилляре, вызванную тепловым потоком и - установленную, как мы видели, чисто экспериментально, мы могли приступить к выводам нашего исследования, ведущим к объяснению процесса колоссальной теплопроводности.

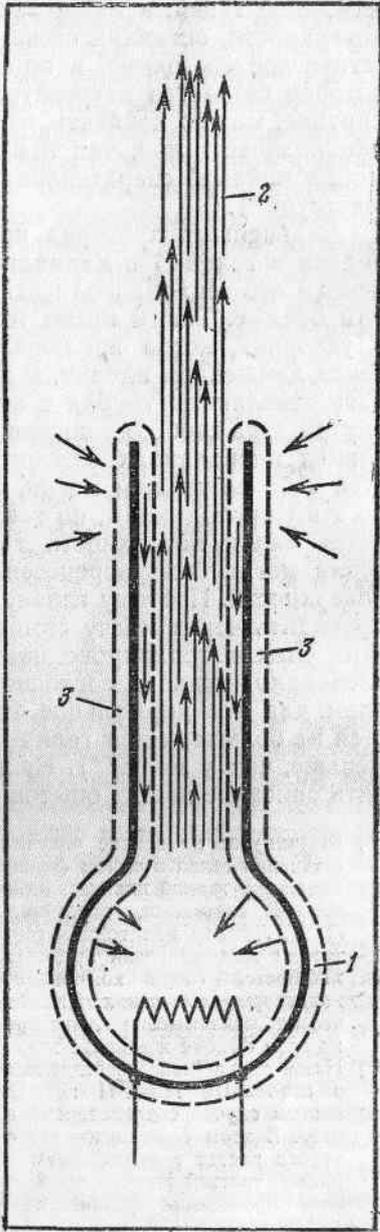
Мы имеем основания предположить, что гелий, в тонкой пленкедвигающийся по поверхности, отличается по своему физическому состоянию от того, который течет в обратном направлении в центральной части капилляра. Благодаря

44

молекулярным силам от стенок капилляра мы принимаем, что он находится в несколько другом энергетическом состоянии. Говоря языком термодинамики, у него другая тепловая функция, чем у свободного гелия.

Оказывается, этого предположения, по-видимому, вполне достаточно, чтобы объяснить большую теплопередачу гелия, которая наблюдалась в капилляре. Наблюдаемая при опыте картина такова: когда гелий по внутренней поверхности капилляра втекает в бульбочку и, покидая поверхность, переходит в свободное состояние, он поглощает тепло. Этот процесс и создает впечатление колоссальной теплопроводности. Поясним это примером.

Если мы хотим произвести охлаждение и будем пользоваться для этого струей холодной воды при 0°C либо используем лед при той же температуре, то мы увидим, что во втором случае за счет скрытой теплоты таяния происходит более энергичное охлаждение, чем при пользовании просто водой. Охлаждение в нагревающейся бульбочке и напоминает нам ох-



45

лаждение тающим льдом. Гелий, попадающий сюда по поверхности, оставляя стенки, переходит в другое энергетическое состояние, и при этом он поглощает тепло, которое создается нагревателем. Основываясь на такой картине, можно показать, что теплопередача становится как количественно, так и качественно вполне объяснимой, и никакой сверхтеплопроводности в гелии-II [не существует](#).

Дальнейшая проверка предложенной нами теплопередачи в гелии-II в капилляре была произведена измерением его теплопроводности не в трубке, а в свободном объеме. Таким путем мы мерили теплопроводность в условиях, когда исключалась возможность переноса тепла движением пленки. В этих опытах, например, бралась стеклянная трубка с нагревателем и термометром внутри. Она свободно подвешивалась в гелии-II на очень тонких проводниках. Пленки гелия-II от холодных частей к более теплым могли, очевидно, проползти только по этим проводникам, но так как эти проводники имеют очень малую поверхность, то только очень малая часть тепла могла быть перенесена движением пленки по их поверхности. Поэтому главная часть тепла должна была проходить через массу самого жидкого гелия. Меряя в этих опытах теплопроводность свободного гелия, как и

следовало ожидать согласно нашей картине, мы получаем для нее нормальное значение, т. е. она оказывается не больше, чем у гелия-I, т. е. примерно в 100 000 раз меньше, чем у [меди](#). На этом я позволю себе закончить описание наших опытов с жидким гелием.

46

Мне хочется еще раз оговорить, что я их описал очень схематично, рассказывая вам только о том, что могло проиллюстрировать ход развития нашей мысли. Но мне кажется, что даже из этого, весьма общего, описания можно вынести некоторую картину развития изучения этого интересного вопроса современной физики. Были видены, как замеченное противоречие одновременного существования в жидком гелии большой теплопроводности и малой вязкости привело к опытам, которые обнаружили, что эта вязкость не только мала, но практически неощутима, и мы предположили, что гелий-II «сверхтекуч», а его теплопроводность — конвекционная. Такая картина опять завела в тупик, так как она все же недостаточна, чтобы объяснить большую теплопроводность гелия-II. Чтобы выйти из тупика, нужно было обнаружить движение гелия в капилляре. Рядом экспериментов, на описании которых я остановился более подробно, это удалось сделать. На основании полученной картины движения, чтобы объяснить большую теплопроводность гелия, мы выдвинули предположение о разности тепловых функций гелия в тонких слоях и в свободном состоянии. Гипотеза оказалась плодотворной, и на основании ее удалось предсказать, что теплопроводность гелия в свободном состоянии при отсутствии поверхностных явлений не обнаруживает аномалий.

Но я ввел бы вас в заблуждение, если бы вы заключили из всего сказанного, что проблемы жидкого гелия полностью решены и вопрос исчерпан. Дальнейший анализ вскрывает еще много противоречий и неясностей в этих проблемах, и впереди еще много интересной работы. Подробный разбор этих вопросов завел бы нас очень далеко, но я укажу хотя бы на некоторые из них.

Пограничные слои, играющие, как мы видели, такую важную роль в явлениях жидкого гелия-II, выдвигают ряд проблем для исследования. Например, далеко не ясен вопрос о механизме течения гелия в тонких пленках по поверхности и о возможных скоростях этого течения. Поверхностный слой жидкого гелия-II, участвующий в противотоке, казалось бы, следовало считать, по ряду общих теоретических соображений, очень тонким, но тогда оказывается, что скорости этого течения были бы очень велики: порядка 200 м/с. Более подробный анализ показывает, что нет никаких физических законов, препятствующих принципиальному существованию

47

таких больших скоростей в тонкой пленке, но в то же время признать их существование мы сможем только после того, как подтвердим наличие этой скорости экспериментально.

Неясен еще такой вопрос: есть ли «сверхтекучесть» только свойство гелия-II в его поверхностных слоях или это есть свойство всей массы гелия? Анализ экспериментальных данных не дает до сих пор однозначного ответа на этот вопрос, а, наоборот, ведет к ряду интересных противоречий, подлежащих опытному изучению.

Можно указать целый ряд еще не решенных вопросов.

Но уже сейчас интересно обсудить, какое возможное значение для развития современной теоретической физики могут иметь уже полученные данные. Как мы уже указывали, в сверхтекучести гелия-II мы имеем явление, чрезвычайно похожее на сверхпроводимость. В обоих случаях при температуре вблизи абсолютного нуля, где можно ждать проявления квантовой природы явлений, процесс течения как электричества, так и самой материи начинает происходить без потерь. Было бы неожиданно, если бы оба эти явления не определялись одной теорией, пока еще непонятной особой стороной квантовых процессов в конденсированном состоянии.

В сверхпроводимости мы имеем случай, когда носители электричества — электроны — могут без трения течь через кристаллическую решетку. В процессе сверхтекучести мы имеем атомы, которые могут организованно двигаться относительно друг друга тоже без трения. Теоретики ищут те квантовые соотношения, которые объясняют возможность такого движения без трения, и естественно думать, что им удастся более легко решить задачу, изучая взаимодействие электронов с атомами, образующими кристаллическую решетку металла.

На этом можно было бы и кончить изложение наших работ, если бы совсем неожиданно для меня не была предложена одна идея практического применения большой текучести жидкого гелия. Я хочу вам рассказать о ней не потому, что я уверен в ее практическом осуществлении, а только чтобы проиллюстрировать, что всякое

обнаруженное в природе явление неизбежно открывает новые возможности, которые так или иначе всегда будут использованы в нашей жизни. Эти применения могут быть совсем неожиданными и относятся к об-

48

пьястям, от которых сам исследователь очень далек и о которых он не осведомлен и не мог думать, когда вел свои работы. Смелая идея применения жидкого гелия была мне высказана проф. Л. Г. Лойцянским. Его идея пока очень далека от осуществления и может вызвать еще целый ряд возражений, но столь интересна, что о ней следует рассказать.

Дело касается испытания крыльев и фюзеляжа аэропланов на обтекаемость. Сейчас инженерам приходится пользоваться очень большими и дорогими аэродинамическими трубами, где аэропланы испытывают в натуральную величину. Как известно, нельзя применять уменьшенные модели аэропланов, ибо теория подобия, на которой основывается экспериментирование на моделях, здесь полностью не применима. При уменьшении масштабов в аэродинамических трубах требуется такое же уменьшение так называемой кинематической вязкости окружающей среды. Эта кинематическая вязкость есть частное от деления вязкости на плотность среды. Чтобы уменьшить ее, пытались поднимать давление воздуха в аэродинамических трубах, так как при этом плотность воздуха увеличивалась, вязкость оставалась неизменной и, следовательно, кинематическая вязкость уменьшалась. Это оказалось очень дорого и сложно.

Интересно, что кинематическая вязкость почти для всех текучих сред оказывается больше или мало отличается от кинематической вязкости воздуха. Исключение одно — это жидкий гелий. Предложение проф. Л. Г. Лойцянского и сводится к тому, чтобы изучать аэродинамические свойства моделей самолетов в потоке жидкого гелия. Теоретически идея правильная, экспериментально смелая, и возможно, что ей принадлежит будущее. Во всяком случае до ее практического осуществления надо еще много поработать как над свойствами самого жидкого гелия, так и над техникой осуществления этого эксперимента.

В данный момент для нас интересна неожиданность этой возможности применения нового явления.

Я не сомневаюсь, что в дальнейшем возможностей таких применений будет найдено еще много, столь же неожиданных и не менее многообещающих. Но не надо ждать, что они будут предлагаться самим исследователем. Эти идеи должны быть результатом сотрудничества и интереса к взаимной работе людей с творческим

49

воображением, работающих над развитием самых разнообразных областей нашей жизни. Поднять интерес к науке и сделать ее достоянием, более доступным для большего круга работников нашей страны,— необходимое условие для наиболее быстрого использования новых завоеваний науки. Наука для своего внедрения тоже требует пропаганды. У нас в стране с этой задачей лучше всего должна была бы справиться Академия наук.

КИСЛОРОД

Лекция, прочитанная в Центральной школе парторганизаторов ЦК. ВКП(б)

1944

Я думаю, что вы оцените ту трудность, которая стояла передо мной при выборе темы моего доклада. Я знаю, что вас учат общественным наукам, экономике, истории. Но вас не учат технике и ее основе — физике. Вполне понятно, что вы даже подзабыли ту физику, которую учили в средней школе. Поэтому я выбрал для своей сегодняшней лекции не научную тему, а более общую — о кислороде и предполагаю вам рассказать о том, как в лаборатории у ученых родилась одна интересная научная проблема и как постепенно из небольших лабораторных опытов она перешла в технику и промышленность и как, наконец, начала оказывать большое влияние на экономику всего народного хозяйства. На этом примере мне хотелось наглядно показать, как наука влияет на рост культуры страны.

Иллюстрацией аналогичного процесса может служить следующий уже хорошо известный пример, когда маленькое, ничтожное на первый взгляд наблюдение ученого привело к большим практическим последствиям. Не так уж давно, немногим больше столетия прошло с того дня, когда итальянский врач Гальвани, подвешивая к металлическим перилам своего балкона лапки лягушки, над которой он экспериментировал, заметил, как мышцы лягушачьей лапки пришли в судорожное движение без всякого постороннего воздействия электризации, но просто от прикосновения к мышцам двух разных металлов,

50

Подобное сокращение, но под действием электрических разрядов, было уже известно и неоднократно наблюдалось. Более проницательный, чем Гальвани, Вольта первым понял, что итальянский медик открыл новый источник электричества — электрохимический элемент. Правильно истолковав наблюдения Гальвани и продолжая его работы, Вольта в 1799 г. создал свой знаменитый «вольтов столб», состоящий из ряда медных и цинковых дисков, разделенных пропитанными кислотой кусками фланели, и дающий уже значительную электродвижущую силу. Таким образом был создан источник постоянного электрического тока, что дало возможность изучать его физические свойства.

Рядом ученых только за один XIX в. были открыты все основные электромагнитные явления, вызываемые электрическим током, и создана их теория. Как вы, вероятно, знаете, это открыло путь к созданию мощных источников электрической энергии и ее широкому использованию в технике и народном хозяйстве.

Сейчас для всех ясно, что мы не можем мыслить нашу жизнь без использования электрического тока. С исторической точки зрения современная электротехника молода, она в основном развилась за одно столетие, при ее зарождении присутствовали наши деды.

История использования кислорода, о которой я буду рассказывать, происходит на наших глазах и еще не завершена. Здесь тоже наглядно видно, как научное открытие, родившееся в лаборатории, начинает оказывать все возрастающее влияние в технике и в народном хозяйстве. Я выбрал эту проблему как тему для доклада, так как сам активно принимал участие во внедрении кислорода в промышленность.

Газ кислород как составная часть воздуха был открыт давно. Во второй половине XVIII в. почти одновременно в Швеции — Шееле, в Англии — Пристли и во Франции — Лавуазье установили, что кислород поддерживает горение, и назвали его первоначально «огненным» или «жизненным» воздухом. Впоследствии Лавуазье изменил его название на «кислород» в знак того, что

он образует кислоты со многими горючими веществами фосфорную кислоту с фосфором, угольную кислоту с углем и т. д.). Вскоре было выяснено в больших подробностях значение кислорода для жизни человека и стало извест-

51

но, что когда человек болеет и ему трудно дышать, ему помогает кислород.

Во времена Лавуазье химики добывали кислород из перекиси марганца, которая находится в природе. Несколько позднее кислород добывали из содержащих его в большом количестве кислот и солей. Пристли и Шееле получали кислород для лечебных целей из хлорновато-калиевой соли, которой было присвоено название по имени открывшего ее французского химика Бертолле — «бертолетова соль».

Эта соль, сходная по физическим свойствам с обыкновенной поваренной солью и имеющая вид бесцветных прозрачных пластин, при нагревании плавится и, расплавившись, начинает разлагаться, выделяя кислород. Сто граммов бертолетовой соли дают около 29 литров кислорода. Таким образом полученным кислородом наполняют подушки, с помощью которых поддерживают дыхание тяжелобольных. Это было давно. Получаемый с трудом и в небольших количествах кислород не находил широкого применения.

Развитие физики показало, что к получению кислорода следует подойти другим путем.

Самым обильным источником кислорода, несомненно, должен быть воздух, но долгое, время он был недоступным человечеству, пока ученые не нашли способ повысить его естественную концентрацию (21%). История того, как это произошло, началась примерно 70 лет тому назад, когда швейцарскому физику Пикте и одновременно с ним французскому физику Кальете удалось оживить воздух. К тому времени многие газы уже удавалось оживать, но были и такие, которые еще Фарадей назвал «постоянными», потому что ошибочно считалось, что их вообще нельзя перевести в жидкое состояние. К числу этих «постоянных» газов относился и воздух, поскольку даже при сильном сжатии он не ожижался.

Тогда было выяснено, что для оживления газа нужно не только достаточно высокое давление, но и достаточно низкая температура, названная критической. Как мы теперь знаем, эта температура для воздуха -141 °С при давлении в 32 атм. После ряда попыток найти метод для получения таких низких температур это удалось, наконец, Пикте. В семидесятых годах прошлого века он получил жидкий воздух и наполнил им небольшой сосуд. Это считалось тогда большим научным от-

52

крытием; Пикте был избран почетным членом разных научных обществ, получил медаль и пр.

Основной помехой при исследованиях было то, что жидкий воздух в то время никак не удавалось сохранить в жидком состоянии. Как только его наливали в сосуд, он быстро испарялся. Никому и в голову не приходило, что эта жидкость, которую нельзя было сохранять, может иметь промышленное значение. Жидкий воздух оставался курьезной новинкой, получение которой было доступно только одной-двум хорошо оборудованным лабораториям в мире.

Так продолжалось лет двадцать, пока не было сделано другое открытие, которое сразу изменило положение. Английский ученый Дьюар на основании теоретических соображений пришел к выводу, что вакуум, т. е. пустоту, можно применить для тепловой изоляции.

Теплота передается движением молекул при их столкновении друг с другом. Если молекул мало, то передача тепла затрудняется. Дьюар показал, что, если сделать сосуд с полой оболочкой и выкачать из нее воздух и если в такой сосуд положить, например, лед, он долго не будет таять, так как приток тепла через стенки будет очень мал. Такой сосуд по имени Дьюара часто называют «дьюаровским». Эти сосуды теперь вошли в обиход, ими широко пользуются для хранения пищи при высокой или низкой температуре. В обиходе их называют «термосами». В то время установление принципа, на котором основан термос, было большим научным открытием. Благодаря появлению дьюаровских сосудов стало возможным сохранять жидкий воздух, что позволило более подробно изучать его физические свойства.

Примерно в девяностых годах прошлого века англичанин Бейли и немец Линде, изучая жидкий воздух как смесь двух жидких газов — азота и кислорода, — одновременно нашли, что жидкий воздух, когда частично испаряется, обогащается кислородом, и это объясняется тем, что жидкий азот кипит при несколько более низкой температуре, чем жидкий кислород. Исследования показали, что при атмосферном давлении разница в температуре кипения этих двух жидкостей довольно значительна и составляет около 13°C. Линде первым понял, что это явление открывает возможность дешевого получения кислорода и может иметь большое практическое

53

значение. Это произошло спустя 25 лет после получения жидкого воздуха.

С незапамятных времен человечеством были использованы процессы разгонки смесей жидкостей, основанные на разнице температур кипения компонентов. Подобный процесс, например, находит себе применение для получения спирта, даже используется в деревне при перегонке самогона. Как известно, этот процесс разгонки также широко используется в нефтяной промышленности.

Линде пришла мысль применить способ разгонки к жидкому воздуху, чтобы отогнать более легко кипящий азот от кислорода. Таким путем в первых же опытах он легко получил довольно чистый кислород. Это открывало возможность получения кислорода не только гораздо более дешевым путем, чем прежний, химический, который использовался для наполнения кислородных подушек для тяжелобольных, но и в больших объемах, определяемых уже не десятками литров, а сотнями и тысячами кубометров. А если так, то, значит, с помощью кислорода можно интенсифицировать не только процесс человеческого дыхания, но и процессы большего масштаба, как, например, горение.

Естественно, возникла мысль, что если заставить горючий газ, например ацетилен, гореть в присутствии одного кислорода, без азота, который не принимает участия в реакции горения и является вредной примесью, уносящей тепло, то можно получить значительно более горячее пламя. Опыт показал, что таким высокотемпературным пламенем можно локально плавить любой металл, что дало возможность сплавлять два куска металла без помощи какого бы то ни было легкоплавкого припоя, например, сваривать железо с железом. Так появилась и стала успешно применяться автогенная сварка.

Вскоре после этого был найден и способ автогенной резки металлов. По всей вероятности, вам известно, каких масштабов в промышленности теперь достигли автогенные методы обработки металлов: ни самолет, ни морское судно не могут быть построены без автогенной сварки. И стало это возможным только благодаря тому, что открылась возможность дешево получать кислород, добывая его в больших масштабах непосредственно из воздуха.

54

Методы разделения жидкого воздуха, впервые предложенные Линде, уже разрабатываются лет пятьдесят. Все время масштабы кислородной промышленности увеличиваются. Например, сейчас в Америке ежегодно по-

требуется 250 миллионов кубометров кислорода. Это после тех десятков и сотен литров, которые еще в начале века с трудом добывались из бертолетовой соли...

Естественно, стал возникать следующий вопрос. Мы с пользой интенсифицируем горение, получаем горячее пламя за счет чистого кислорода, подаваемого в рожок автогенной горелки. Но поскольку окислительных процессов в природе очень много, не будет ли полезным их также интенсифицировать?

Почти вся энергетика в природе во всем многообразии ее форм так или иначе связана с окислительными процессами. Дыхание сводится к окислению. За счет получаемой при этом процессе энергии мы работаем и двигаемся, за счет нее поддерживается теплота нашего тела. Так происходит и со всем живым, вплоть до большинства простейших бактерий. Но этого мало: 90% нашей техники основано на использовании кислорода. Сжигание бензиновых паров в цилиндрах двигателей внутреннего сгорания, сжигание угля в топках котлов теплоцентралей, в жерле доменной печи, сгорание серного колчедана и еще множество других важнейших технических процессов основано на окислении. Представьте себе, что вслед за интенсификацией дыхания, вслед за интенсификацией пламени горелки сварочного аппарата мы начнем интенсифицировать все процессы в технике, в которых применяется кислород. Какую выгоду это может нам дать для народного хозяйства?

Для ответа на этот вопрос надо провести экономический расчет, для которого нужно знать, во-первых, что в каждом отдельном случае дает интенсификация кислородом, и, во-вторых, будут ли при этом оправданы расходы на получение кислорода.

Таким образом, перед нами возникает вопрос: как наиболее дешево можно получать кислород? Наука может на это ответить. Поскольку основная стоимость кислорода определяется энергетическими затратами, то нужно определить, какую минимальную мощность, скажем, какое количество киловатт, необходимо затратить для получения из воздуха 1 м³ кислорода в час. Оказывается, что эта величина очень невелика — это состав-

55

ляет 0,08 кВт•ч. Можно доказать, что меньше этого нельзя затратить, получая кислород из воздуха. Сколько же мы тратим на самом деле? В тех установках, которые сейчас существуют, мы затрачиваем мощность в 15 раз большую, чем теоретически минимальная. Это происходит потому, что существующие методы получения кислорода еще далеко не совершенны. Можем ли мы их сделать более совершенными? Да, можем.

Я не имею возможности здесь подробно говорить об источниках потерь при получении кислорода. Замечу лишь, что, когда инженеры знают величину потерь и их причины, они обычно находят пути с ними бороться. Определив стоимость получения кислорода, мы можем определить рентабельность применения кислорода в различных областях техники в данное время. Имея эти данные, мы можем предсказать, что в различных областях нашей промышленности произойдет, когда там станут применять кислород.

Ввиду важности этой проблемы для развития нашей промышленности создано при СНК СССР специальное учреждение — Главкислород, которым я руковожу. При Главкислороде есть Технический совет, куда привлечены видные специалисты тех отраслей промышленности, где предполагается в первую очередь применить кислород. Руководителем одного из отделов Главка по внедрению кислорода в металлургию является академик И. П. Бардин. Вы все хорошо знаете, что это очень знающий и весьма опытный инженер. В «Бюллетене» Главкислорода помещена его статья на тему применения кислорода в металлургии. Поскольку это область, в которой предполагается начать осваивать применение кислорода, то я остановлюсь на ней более подробно и приведу ряд данных из статьи Бардина.

Например, что дает перевод домны на кислородное дутье? Две домны уже работали на кислороде: одна — в Черноречье, другая около Днепропетровска на ДЗМО. Последняя — это крупная домна, она проработала уже 5—6 месяцев. Но, к сожалению, на самом интересном месте опыты с ней были прерваны из-за эвакуации, связанной с войной. Но уже полученные результаты достаточно интересны. И. П. Бардин с уверенностью приходит к выводу, что, если добавлять достаточно кислорода в доменное дутье (пока еще не оказалось возможным перейти на чисто кислородное дутье), за одно и то же

56

время домна станет давать в 3,5—4 раза больше чугуна. •Это происходит благодаря тому, что процесс восстановления руды в домне в присутствии кислорода интенсифицируется и поэтому проходит гораздо скорее.

Экспериментаторы, проводившие эти опыты, показали, что обогащение воздуха на 1 % кислородом поднимает производительность доменных на 10%. В дальнейшем полученный чугун уже в конверторах или мартенах можно перевести в сталь, тоже применяя кислород. При этом процесс не только значительно интенсифицируется, но в отсутствие азота сталь получается лучшего качества. В будущем это тоже сулит большую экономию.

Положим, говорит Бардин, что наша металлургия будет доведена до уровня американской, т. е. до выплавки 90—100 млн. т стали в год. Если мы это сделаем, то экономия по капиталовложениям при условии перевода металлургии на кислород составит 10 млрд. рублей. Экономия в стоимости чугуна будет примерно 16—17%.

При этом, конечно, учитывается, что количество перерабатываемой руды возрастет пропорционально количеству выпускаемой продукции, так как при этом процесс только интенсифицируется, но не изменяется.

Но здесь следует учесть и другой факт, который вас, как экономистов, может заинтересовать. Оказывается, что при интенсификации производства не все решается одной стоимостью продукции, но следует учитывать и трудозатраты.

Приведу вам такой упрощенный пример. Предположим, нам нужно выработать 1 т какого-то продукта. Чтобы его произвести, двум рабочим платят по 300 рублей каждому. Таким образом, тонна продукта обходится вам в 600 рублей. Но вот мы механизировали и интенсифицировали процесс производства. Теперь, чтобы произвести то же количество продукта, нужно участие уже не двух, а одного рабочего, но более квалифицированного, чем прежние. Он затратит на это столько же времени, сколько каждый из прежних двух рабочих. Но ему придется платить уже 700 рублей, т. е. больше, чем прежним двум вместе взятым, и поэтому продукт будет стоить на 100 рублей дороже, хотя человеко-часов затрачено в Два раза меньше. Спрашивается: выгодно это или нет? В масштабе всей страны это выгодно. Рабочему, который освободится от участия в этом процессе, это даст возможность начать учиться. Образование человека сто-

57

ит меньше по сравнению с тем, что приносит государству его более квалифицированный труд. Затраты на образование составляют незначительную часть стоимости продукта, получаемого от труда человека. Поэтому судить о выгоде или невыгоде интенсификации производственного процесса нужно не только по рублям, но также по трудочасам, учитывая рост производительности труда и экономию в рабочей силе.

Кроме того, очевидно, что если рабочий с менее квалифицированной работы переходит на более квалифицированную работу, то в стране поднимается уровень квалификации трудящихся и повышается их жизненный уровень. Поэтому сейчас, когда производят предварительные расчеты рентабельности интенсификации кислородом различных производств, даже в том случае, когда это оказывается убыточным в копейках, но, подымая производительность труда, дает выигрыш в затрате рабочей силы, освобождая из производства наименее квалифицированную часть рабочих, ее в общем следует оценить положительно. Как подсчитал Бардин, в металлургии применение кислорода обещает дать 40 % экономии в рабочей силе.

Я привел пример с черной металлургией, потому что он у нас наиболее хорошо изучен и в этой области уже имеются надежные экспериментальные данные, на которых основано все, только что мною сказанное. Расчеты показывают, что с этой точки зрения применение кислорода и в ряде других областей народного хозяйства оказывается весьма эффективным.

Я мог бы вам рассказать также о применении кислорода в азотно-туковой промышленности, при получении целлюлозы, для извлечения золота из руд, для изготовления дешевых взрывчатых веществ, так называемых окисилквитов, и т. д. Подробно об этих вопросах можно почитать в «Бюллетене» Главкислорода. Но и этого перечня достаточно, чтобы оценить масштабы тех производств в промышленности, которые возможны с интенсификацией кислородом технологических процессов.

В последние годы, как инженер и физик, я со своими сотрудниками в Институте физических проблем занимался задачей разработки более совершенных методов получения кислорода. Я вам уже говорил, что в существующих установках для получения кислорода затрачивается во много раз больше энергии, чем это предельно

58

возможно. Поэтому перед учеными стоит вопрос: как усовершенствовать процесс извлечения кислорода из воздуха так, чтобы, затрачивая меньше мощности, удешевить кислород?

Но это еще не вся проблема. Нам нужно получать не только дешевый кислород, но надо получать еще очень много кислорода. В данном случае это не так просто — оказывается, здесь количество переходит в качество.

Первая же большая домна, переведенная на кислород, будет потреблять столько кислорода, сколько вся наша автогенная промышленность во всем Союзе.

Если мы станем осуществлять необходимое для этих масштабов производство кислорода существующими методами, то возникает принципиальное затруднение. В технике, когда растут мощности, есть одна особенность, которую инженеры больше чувствуют, чем осознают, хотя ее можно достаточно строго обосновать теоретически.

Поясню ее на примере: если увеличивать размеры какой-либо поршневой машины, например двигателя, рассчитывая получить от нее большую мощность, то окажется, что после определенного размера вес ее на единицу мощности будет не уменьшаться, а увеличиваться. Так, если паровая машина мощностью в 100 лошадиных сил (я беру совершенно условные цифры для характеристики относительных пропорций) весит 1 т, то машина мощностью в десять раз большей — в 1000 лошадиных сил — будет весить не 10 т, а больше. С увеличением габаритов поршневой машины после некоторого размера мощность ее на единицу веса убывает. Поэтому на практике, если мы хотим построить более мощную поршневую машину, оказывается выгодным не увеличивать размеры цилиндров, а увеличивать их число.

Это можно наблюдать на примере современного авиационного моторостроения. Подымая мощность моторов, сейчас, из соображений веса, приходится увеличивать не размер цилиндров, а их число: оно у нас достигает 24, а новейшие американские моторы имеют до 48 [цилиндров](#). Вес мотора — это основная трудность при увеличении размеров аэропланов.

59

Если бы основывать получение кислорода в больших масштабах производства на использовании для получения холода поршневых детандеров и компрессоров, то мы также скоро подошли бы к пределу допустимых размеров кислородных установок и дальнейшее увеличение производства кислорода пришлось бы осуществлять увеличением числа поршневых машин, но не их размеров.

Здесь имеет место полная аналогия с тем, что происходит при росте мощности теплоэлектроцентралей. Если бы сейчас современные мощные ТЭЦ стали оборудовать уаттовскими поршневыми машинами, которые изредка еще встречаются на старых волжских пароходах или на маленьких электростанциях, то эти машины должны были бы приобрести такие размеры, которые можно считать неосуществимыми. Как хорошо известно, решение проблемы увеличения мощности осуществляется паровой турбиной, изобретенной Лавалем и Парсонсом, которая замечательна тем, что может дать на единицу веса во много раз большую мощность, чем поршневая паровая машина. Поэтому теперь крупные электростанции строят только на турбинах.

Первоначально ожижение воздуха производилось методом, в котором использовался так называемый эффект Джоуля — Томсона. Это явление заключается в том, что при свободном расширении газа он охлаждается тем больше, чем выше давление сжатого газа. Обычно оно было около 200 атм. В дальнейшем во Франции Клод, а в Германии Гейланд охлаждение производили тем, что сжатый компрессором воздух заставляли расширяться в специальной поршневой машине, называемой детандером, которая действует весьма похоже на паровую. Как известно, паровая машина работает за счет расширения горячего пара, который, после того как совершит работу, покидает машину в значительно более холодном состоянии. Сходство заключается в том, что сжатый воздух при расширении также будет производить работу и охлаждаться. Этим и пользуются в холодильной поршневой машине, которую называют детандером. Сжатый воздух, поступив в ее цилиндр, расширяясь, производит работу и охлаждается. Расчеты показали, что, переходя к получению жидкого воздуха в больших масштабах, чтобы из него разгонкой отделять кислород, следует, как и при получении больших мощностей, отказаться от

60

поршневых компрессоров и детандеров и перейти к турбинам.

Возможность применения холодильных турбин была высказана учеными еще давно. По-видимому, первым был известный английский физик Рэлей. Еще 40 лет тому назад он предложил применять турбину при ожижении воздуха. Обоснование этого предложения было несколько иное, не связанное с необходимостью ожижать воздух в больших масштабах. Оно было вызвано трудностями смазки поршневых детандеров. При

низких температурах все смазочные жидкости замерзают. Турбина же при работе не требует смазки. С тех пор был сделан ряд попыток применить турбины как детандеры, но добиться значительного успеха не удалось.

Тут мне придется рассказать и о наших работах в этой области, поскольку как раз в нашем институте, применяя в качестве детандера турбину, удалось впервые получить жидкий воздух и при этом с достаточно хорошими показателями. Та новая идея, которой мы руководствовались, настолько проста, что даже непонятно, почему до сих пор на нее не обратили внимания.

Общий ход рассуждений (конечно, схематизируя) до наших работ был следующим: для того чтобы получать холод, строили поршневые детандеры и, чтобы поднять их к.п.д., прибегали к высоким давлениям, точно также как в энергетике стремились пользоваться поршневыми машинами высокого давления пара. Потом, для получения еще больших мощностей, в энергетике стали поршневые машины заменять турбинами. Следовательно, для получения жидкого воздуха в больших количествах нужно сделать то же самое. И, следуя этой аналогии, инженеры стали применять для холодильной техники в качестве детандеров общепринятые типы паровых турбин. На практике оказалось, что холод они, конечно, давали, но с плохим к.п.д.

Этот случай лишней раз показывает нам, как осторожно надо пользоваться аналогией. Инженеры, загипнотизированные аналогией тепловых процессов в холодильных и паровых машинах, просмотрели очень важный фактор. Они упустили то, что воздух, благодаря своей большой сжимаемости, при низких температурах становится настолько плотным, что по своим физическим свойствам гораздо больше напоминает воду, чем пар.

61

Это приводит к тому, что холодильные турбины надо строить не по образцу паровых, а по образцу водяных, т. е. применяя несколько измененные, хорошо всем известные реактивные турбины типа Жонваля. Когда я обратил внимание конструкторов наших кислородных установок, что они применяют не тот тип турбины, мое замечание не было серьезно воспринято. Мне ответили примерно так: все за границей идут по пути паровых турбин; то, что вы предлагаете, идет в противоречие с тем, что делают там фирмы. Это отвлеченная теория ученого.

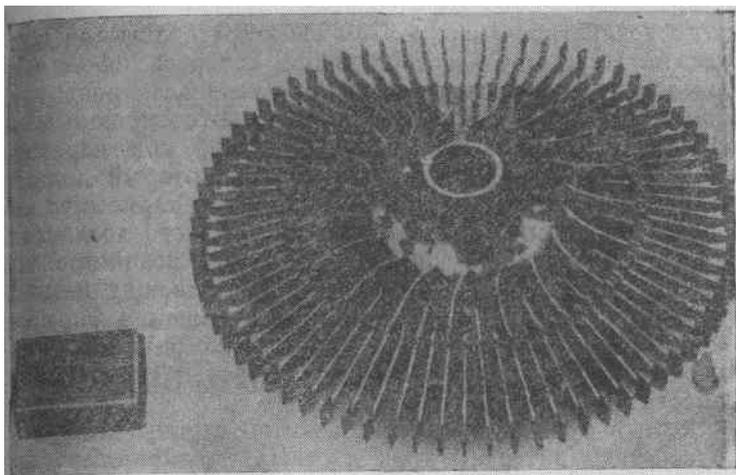
Тогда было решено сконструировать и построить у нас в институте холодильную турбину, подобную гидротурбине, и проверить на опыте, будет ли она иметь такой же высокий к.п.д., какой характерен для водяных турбин. Эти работы заняли 2—3 года и окончились успешно. Теперь наша турбина уже получила общее признание как у нас, так и за рубежом и была в конечном итоге отмечена правительством премией.

Этот пример является хорошей иллюстрацией того, как люди не обращают внимания на совершенно очевидное — при понижении температуры воздух приобретает новое качество, присущее жидкости, хотя и остается при этом газообразным телом. Загипнотизированные общепринятым решением проблемы, конструкторы с трудом воспринимают новое, даже когда решение проблемы является более простым.

Когда при конструировании турбины эта особенность воздуха при низких температурах была учтена, открылась возможность получения кислорода в больших масштабах. В военное время не рекомендуется широко распространять цифровые данные. Но я могу вам сказать, что есть завод, который успешно работает на наших турбинах уже в продолжение нескольких тысяч часов. Третья часть всего кислорода в Москве делается сейчас таким путем. (Один из первых экспериментальных образцов ротора радиального турбодетандера изображен на рисунке.)

Это направление в получении кислорода сейчас расширяется. Но в жизни при развитии всего нового неизбежны трудности. Хотя сама по себе идея и проста, но при ее выполнении встречается ряд новых технических трудностей. Например, при осуществлении высокооборотной турбины, работающей в плотной среде холодного

62



газа, возникает неустойчивость ротора. Пришлось разработать новый тип стабилизаторов.

Приходится преодолевать и трудности психологической природы. Как всегда в отношении к новому, люди тяжелы на подъем, и в нашей промышленности немало консерватизма. Преодолев эти обычные жизненные явления, мы начинаем в области техники глубокого холода и применения кислорода опережать Запад. И здесь начинает выявляться одна очень интересная особенность, связанная с решением в народном хозяйстве такого рода проблем.

Оказывается, что в некотором отношении комплексные нововведения большого масштаба у нас в стране проходят легче, чем в капиталистических странах. Какое-нибудь маленькое изобретение у нас часто бывает продвинуто в жизнь труднее, но большое новое направление в технике, которое влечет за собой крупный сдвиг в ряде областей промышленности, у нас оказывается осуществить легче. Причина этого, по-видимому, в следующем. Чтобы быть конкретным, разберу пример, близкий к действительности.

Предположим, что для осуществления большого нововведения нужно участие двух-трех отраслей промышленности. Например, использование горения отходящих газов мартеновского производства при использовании кислорода обещает быть рентабельным для энергетиче-

63

ского хозяйства. У нас в этом заинтересованы три наркомата: Наркомат электростанций, который может воспользоваться отходящим газом для теплоэлектроцентралей, Наркомат черной металлургии, который подымает производительность мартеновских печей при переводе плавки на кислород, и Главкислород, который должен обеспечить мартены кислородом. Все три наркомата являются органами единого социалистического хозяйства, в то время как при капиталистическом хозяйстве эти области промышленности обычно принадлежат независимым друг от друга в финансовом отношении фирмам. Одна из них может получить от этой комбинации большую прибыль, другая меньшую, а третья может даже понести убыток.

Хотя в сумме народное хозяйство страны выиграет, но сочетать интересы трех частных предпринимателей оказывается делом сложным в юридическом и финансовом отношении, в то время как у нас, когда расчет основывается на общегосударственной выгоде, одно постановление правительства является в равной мере обязательным для всех трех наркоматов, и можно просто обеспечить успешное развитие такого рода комплексных технических проблем.

Таких примеров можно привести много. Мы имеем еще одно огромное преимущество в развитии нового в комплексном хозяйстве, которое мы пока еще плохо используем. Нетрудно видеть, что мы располагаем возможностью, не боясь риска, ставить опыты в технике в очень больших масштабах. А в новом деле нельзя избежать риска. Никогда ничто новое не делается наверняка, поскольку всегда могут появиться трудности, которые нельзя было заранее предвидеть. Если в масштабе всего государства открывается перспектива миллиардной экономии, то риск в несколько десятков миллионов, очевидно, будет оправдан и не разорит государство. В капиталистической стране даже очень крупная фирма не может позволить себе рисковать такой значительной суммой и на большой эксперимент не дерзнет. Как известно, пока главное, что нас тормозит,— это консерватизм и привычка к рутине отдельных бюрократических работников.

Делая этот доклад, я имел в виду, что вы — ответственные партийные работники, ведущие общественные деятели, пропагандисты, поэтому должны быть главны-

64

ми борцами с консерватизмом, с косностью наших работников хозяйственного аппарата. Я надеюсь, что, когда вы разъедетесь по стране, каждый из вас будет вспоминать мой доклад и будет бороться за все новое и прогрессивное в нашей социалистической стране.

О ПРИРОДЕ ШАРОВОЙ МОЛНИИ

Статья в журнале «Доклады АН СССР» 1955

Природа шаровой молнии пока остается неразгаданной. Это надо объяснить тем, что шаровая молния — редкое явление, а поскольку до сих пор нет указаний на то, что явление шаровой молнии удалось убедительно воспроизвести в лабораторных условиях, она не поддается систематическому изучению. Было высказано много гипотетических предположений о природе шаровой молнии [1, 2], но то, о котором пойдет речь в этой заметке, по-видимому, еще не высказывалось. Главное, почему на него следует обратить внимание, это то, что его проверка приводит к вполне определенному направлению экспериментальных исследований.

Нам думается, что ранее высказанные гипотезы о природе шаровой молнии неприемлемы, так как они противоречат закону сохранения энергии. Это происходит потому, что свечение шаровой молнии обычно относят за счет энергии, выделяемой при каком-либо молекулярном или химическом превращении, и, таким образом, предполагают, что источник энергии, за счет которого светится шаровая молния, находится в ней самой. Это встречает следующее принципиальное затруднение.

Из основных представлений современной физики следует, что потенциальная энергия молекул газа в любом химическом или активном состоянии меньше той, которую нужно затратить на диссоциацию и ионизацию молекул. Это дает возможность количественно установить верхний предел энергии, которая может быть запасена в газовом шаре, заполненном воздухом и размерами с шаровую молнию.

С другой стороны, можно количественно оценить интенсивность излучения с ее поверхности. Такого рода прикидочные вычисления показывают, что верхний предел времени высвечивания получается много меньше

65

действительно наблюдаемого у шаровых молний. Этот вывод теперь также подтверждается опытным путем из опубликованных данных [3] о времени высвечивания облака после ядерного взрыва. Такое облако сразу после взрыва, несомненно, является полностью ионизованной массой газа, и поэтому его можно рассматривать как заключающее в себе предельный запас потенциальной энергии. Поэтому, казалось бы, оно должно высвечиваться за время большее, чем наиболее длительно существующая шаровая молния подобного размера, но на самом деле этого нет.

Поскольку запасенная энергия облака пропорциональна объему (d^3), а испускание — поверхности (d^2), то время высвечивания энергии из шара будет пропорционально d , его линейному размеру. Полностью облако ядерного взрыва при диаметре d , равном 150 м, высвечивается за время, меньшее чем 10 с [3], так что шар диаметром в 10 см высветится за время, меньшее чем 0,01 с. Но на самом деле, как указывается в литературе, шаровая молния таких размеров чаще всего существует несколько секунд, а иногда даже минуту

[1, 2].

Таким образом, если в природе не существует источников энергии, еще нам не известных, то на основании закона сохранения энергии приходится принять, что во время свечения шаровой молнии непрерывно подводится энергия, и мы вынуждены искать этот источник энергии вне объема шаровой молнии. Поскольку шаровая молния обычно наблюдается «висящей» в воздухе, непосредственно не соприкасаясь с проводником, то наиболее естественный и, по-видимому, единственный способ подвода энергии — это поглощение ею приходящих извне интенсивных радиоволн.

Примем такое предположение за рабочую гипотезу и посмотрим, как согласуются с ней наиболее характерные из описанных явлений, сопровождающих шаровую молнию [1, 2, 4].

Если сравнить поведение шаровой молнии со светящимся облаком, оставшимся после ядерного взрыва, то бросается в глаза следующая существенная разница. После своего возникновения облако ядерного взрыва непрерывно растет и бесшумно тухнет. Шаровая молния в продолжение всего времени свечения остается постоянных размеров и часто пропадает со взрывом. Облако

66

ядерного взрыва, будучи наполнено горячими газами с малой плотностью, всплывает в воздух и поэтому движется только вверх. Шаровая молния иногда стоит неподвижно, иногда движется, но это движение не имеет предпочтительного направления по отношению к земле и не определяется направлением ветра. Теперь покажем, что эта характерная разница хорошо объясняется выдвинутой гипотезой.

Известно, что эффективное поглощение электромагнитных колебаний ионизированным газовым облаком — плазмой — может происходить только при резонансе, когда собственный период электромагнитных колебаний плазмы совпадает с периодом поглощаемого излучения. При тех интенсивностях ионизации, которые ответственны за яркое свечение шара молнии, резонансные условия всецело определяются его наружными размерами.

Если считать, что поглощаемая частота соответствует собственным колебаниям сферы, то нужно, чтобы длина λ поглощаемой волны была приблизительно равна четырем диаметрам шаровой молнии (точнее, $\lambda=3,65d$). Если в том же объеме ионизация газа *слаба*, то тогда, как известно, период колебаний плазмы в основном определяется степенью ионизации, причем соответствующая резонансная длина волны всегда будет больше, чем та, которая определяется размерами ионизованного объема и, как мы указали, равна $3,65d$.

При возникновении шаровой молнии механизм поглощения можно себе представить так: сперва имеется небольшой по сравнению с $(\pi/6)d^3$ объем плазмы, но если ионизация его будет слаба, то все же резонанс с волной длины $\lambda=3,65d$ будет возможен и произойдет эффективное поглощение радиоволн. Благодаря этому ионизация будет расти, а с ней и начальный объем сферы, пока она не достигнет диаметра d . Тогда резонансный характер процесса поглощения будет определяться только формой шаровой молнии, и это приведет к тому, что размер сферы шаровой молнии станет устойчивым.

Действительно, предположим, что интенсивность поглощаемых колебаний увеличивается; тогда температура ионизованного газа несколько повысится и сфера раздуется, но такое увеличение выведет ее из резонанса и поглощение электромагнитных колебаний уменьшится, сфера остынет и вернется к размерам, близким к резонансным. Таким образом можно объяснить, почему

67

наблюдаемый диаметр шаровой молнии в процессе свечения остается постоянным.

Размеры наблюдаемых шаровых молний лежат в интервале от 1 до 27 см [4]. Согласно нашей гипотезе, эти величины, помноженные на четыре, дадут тот диапазон волн, который ответствен в природе за создание шаровых молний. Наиболее часто наблюдаемым диаметрам шаровых молний от 10 до 20 см [1] соответствуют длины волн от 35 до 70 см.

Местами, наиболее благоприятными для образования шаровых молний, очевидно, будут области, где радиоволны достигают наибольшей интенсивности. Такие места будут соответствовать пучностям напряжения, которые получаются при разнообразных возможных интерференционных явлениях. Благодаря повышенному напряжению электрического поля в пучностях, их положение будет фиксировать возможные места шаровой молнии. Такой механизм приводит к тому, что шаровая молния будет передвигаться с передвижением пучности, независимо от направления ветра или конвекционных потоков воздуха [1, 2].

Как возможный пример такого фиксированного положения шаровой молнии рассмотрим случай, когда радиоволны падают на проводящую поверхность земли и отражаются. Тогда благодаря интерференции образуются стоячие волны и на расстояниях, равных K , длине волны, помноженной на 0,25; 0,75; 1,25; 1,75; и т. д., будут образовываться неподвижные в пространстве пучности, в которых напряжение электрического поля удваивается по сравнению с падающей волной. Вблизи этих поверхностей благодаря повышенному напряжению будут благоприятные условия как для создания начального пробоя, так и для дальнейшего развития и поддержания ионизации в облаке, образующем шаровую молнию. Таким образом, поглощение электромагнитных колебаний ионизированным газом может происходить только в определенных поверхностях, параллельных рельефу земли. Это и будет фиксировать в пространстве положение шаровой молнии.

Такой механизм объясняет, почему шаровая молния обычно создается на небольшом расстоянии от земли и часто передвигается в горизонтальных плоскостях. При этом наименьшее расстояние центра шаровой молнии до проводящей поверхности будет равно $1/4$ длины

68

волны и, следовательно, зазор между отражающей поверхностью и краем шара должен быть примерно равен его радиусу.

При интенсивных колебаниях вполне возможно, чтобы в ряде пучностей образовывались отдельные шаровые молнии, на расстоянии полудлины волны друг от друга. Такие цепочки из шаровых молний наблюдаются, они носят название «четочных» молний и даже были засняты [2].

Наша гипотеза также может объяснить, почему иногда шаровая молния пропадает со взрывом, который не причиняет разрушений [1, 2]. Когда подвод мощности внезапно прекращается, то при малых размерах остывание шара произойдет так быстро, что образуется сфера разреженного воздуха, при быстром заполнении которой возникает ударная волна небольшой силы. Когда же энергия медленно высвечивается, гашение будет процессом спокойным и бесшумным.

Выдвинутая нами гипотеза может дать удовлетворительное объяснение, пожалуй, наиболее непонятному из свойств шаровой молнии — ее проникновению в помещение через окна, щели и чаще через печные трубы. Попав в помещение, светящийся шар в продолжение нескольких секунд либо парит, либо бежит по проводам {1, 2, 4}. Таких случаев описано столько, что их реальность не вызывает сомнения.

С нашей точки зрения, весьма интересен случай [5], когда в аэроплан, пересекающий грозовую тучу на высоте 2800 м, влетела шаровая молния. Нашей гипотезой все эти явления объясняются тем, что проникновение в замкнутые помещения шаровых молний происходит благодаря тому, что они следуют по пути коротковолновых электромагнитных колебаний, распространяющихся либо через отверстия, либо по печным трубам или проводам как по волноводам. Обычно размер печной трубы как раз соответствует тому критическому сечению волновода, в котором могут свободно распространяться волны длиной до 30—40 см, что и находится в соответствии с наблюдаемыми размерами шаровых молний, проникающих в помещение [1].

Таким образом, гипотеза о происхождении „шаровой молнии за счет коротковолновых электромагнитных колебаний может объяснить не только ряд других известных и непонятных явлений, связанных с шаровой

69

молнией, как-то: ее фиксированные размеры, малоподвижное положение, существование цепочек, взрывная волна при исчезновении,— но также ее проникновение в помещение.

Тут следует поставить вопрос: не происходит ли давно наблюдаемое в природе явление тлеющего кистеобразного свечения, называемого «огни св. Эльма», также за счет электромагнитных колебаний, но более слабых мощностей? До сих пор [6] это свечение объяснялось стеканием зарядов с острия, происходящим благодаря постоянному напряжению, возникающему при больших разностях потенциалов между землей и тучей. Такое объяснение было вполне естественно до тех пор, пока это свечение наблюдалось на земле, где можно указать замкнутый путь постоянного тока, но теперь описаны случаи, когда «огни св. Эльма» продолжительное время наблюдаются на фюзеляжах летящих самолетов [7]. Поэтому возможно, что и тут выдвинутая нами гипотеза может помочь решению этой трудности.

Хотя выдвинутая гипотеза успешно разрешает ряд основных трудностей понимания процесса шаровой молнии, все же следует указать, что этим еще вопрос до конца не решается, так как нужно еще показать существование в природе электромагнитных колебаний, питающих шаровую молнию. Тут в первую очередь нужно ответить на естественно возникающий вопрос: почему вовремя грозы излучения электромагнитных колебаний в области той длины волны, которая нужна для создания шаровой молнии, до сих пор не описаны в литературе?

Пока еще не было направлено внимание на обнаружение во время грозы этих волн, нам думается, можно предположить следующее. Поскольку шаровая молния — редкое явление, то естественно считать, что возникновение соответствующих радиоволн тоже редко происходит, кроме того, еще реже можно ожидать, чтобы они попадали на приемные аппараты в той коротковолновой области радиоволн от 35 до 70 см, которая пока еще сравнительно мало используется. Поэтому как следующий шаг проверки выдвинутых предположений следует выработать соответствующий экспериментальный метод наблюдения, попытаться обнаружить во время грозы радиоизлучения в указанном коротковолновом диапазоне волн.

Что касается источника этих радиоволн, то, по-видимому, есть два факта в наблюдениях над шаровыми молниями, которые могут помочь пролить свет на механизм их возникновения. Один из них — то, что шаровая молния наиболее часто возникает к концу грозы; второй — то, что шаровой молнии непосредственно предшествует обычная.

Первый факт указывает, что наличие ионизованного воздуха помогает созданию радиоволн, а второй — что возбудителем этих колебаний является грозовой разряд. Это ведет к естественному предположению, что источником радиоволн является колебательный процесс, происходящий в ионизованной атмосфере либо у тучи, либо у земли. В последнем случае, если источник находится у земли, то район, захваченный интенсивным радиоизлучением, будет ограничен и будет непосредственно прилегать к месту, где находится шаровая молния. Интенсивность радиоколебаний может быстро падать при удалении от этого места, и поэтому на значительных расстояниях для наблюдения будет нужна чувствительная аппаратура. Если радиоволны излучаются самой грозовой тучей, то они будут захватывать большие районы и их обнаружение даже малочувствительным приемником не представит труда.

Наконец, как второе возможное направление для экспериментальной проверки выдвинутой гипотезы надо указать на возможность создания разряда, подобного шаровой молнии, в лабораторных условиях. Для этого, очевидно, нужно располагать мощным источником радиоволн непрерывной интенсивности в дециметровом диапазоне и уметь их фокусировать в небольшом объеме. При достаточном напряжении электрического поля должны возникнуть условия для безэлектродного пробоя, который путем ионизационного резонансного поглощения плазмой должен развиваться в светящийся шар с диаметром, равным примерно четверти длины волны»

ЛИТЕРАТУРА

1. *Brand W.* Der Kugelblitz. — Hamburg, 1923,
2. *Стекольников И. С.* Физика молнии и грозозащита.—М.: Изд-во АН СССР, 1943, с. 145.
3. *The Effects of Atomic Weapons.* — L., 1950, § 2.15.
4. *Rossmann F.* Über den Kugelblitz, — *Wetter und Klima*, 1949, März — April, S. 75.
5. *Durward J.* — *Nature*, 1952, v. 169, p. 563.
6. *Бенндорф Г.* Атмосферное электричество: Пер. с нем. — М.: ГИТТЛ, 1934, с. 51.
7. *Schönland B, F, J,* The Flight of Thunderbolts, — Oxford, 1950, p, 47.

71

ЭЛЕКТРОНИКА БОЛЬШИХ МОЩНОСТЕЙ

Из книги «Электроника больших мощностей» 1962

Хотя электронными процессами все шире и шире пользуются в современной электротехнике, нетрудно видеть, что все же есть область, куда электроника почти не проникает. Действительно, электронные процессы в настоящее время наиболее широко применяются в измерительной технике (катодные осциллографы, фотоэлементы, высокочастотные измерения, усилители и т.д.), для решения кибернетических проблем (автоматика, счетно-решающие устройства, стабилизаторы и др.), в связи (радио, телевидение, радиолокация и т. д.). Однако применение электроники сверхвысоких частот к решению энергетических проблем находится еще в своей начальной стадии.

Эту область применения электроники я и назвал «электроникой больших мощностей». Такое название, конечно, является условным, так как невозможно установить границу, где начинаются «большие мощности». Поэтому под электроникой больших мощностей, мне думается, следует понимать тот отдел электроники, в котором электроника сверхвысоких частот используется для получения непосредственного энергетического эффекта, т. е. для генерации электромагнитных колебаний, которые трансформируются не только в электромагнитные волны, но и в тепло, в энергию ускоренных корпускулярных пучков и в другие виды энергии.

Мне думается, что внедрение сверхвысокочастотной электроники в большую энергетику является одним из наиболее обещающих направлений развития современной электроники. Основные преимущества сверхвысокочастотной энергетики уже сейчас выявляются совершенно четко: это — возможность сосредоточения большой электромагнитной энергии в малых объемах, а также исключительная гибкость, с которой происходит транс-

формация высокочастотной энергии в другие виды энергии (концентрированный подвод тепла, ускорение элементарных частиц, создание, нагревание и удержание плазмы и т. д.). Недостаточное использование электроники в энергетике объясняется тем, что в настоящее время отсутствуют эффективный и надежный метод ге-

72

нерации сверхвысокочастотной энергии и метод ее преобразования в другие виды энергии.

Для развития электроники больших мощностей нужно начать с решения этих задач и искать эти решения на широкой научной базе.

Наша работа началась с теоретического исследования процессов генерации мощных сверхвысокочастотных колебаний. Мы исходили из предпосылки, что мощные колебания могут эффективно создаваться только электронными процессами, происходящими в постоянных (скрещенных) магнитном и электрическом полях, и разработали метод теоретического рассмотрения таких процессов. Этот метод является достаточно общим и полным; в частности, с его помощью удалось дать наглядную количественную теорию процессов, происходящих в генераторах магнетронного типа.

Указанный метод и важнейшие результаты изложены в нашей "большой работе «Электроника больших мощностей», законченной в апреле 1952 г. и давшей название всему направлению. После этой работы наши исследования по электронике больших мощностей стали развиваться более широко...

В своей начальной стадии эта работа (как в экспериментальной, так и в теоретической части) велась мною в тесном сотрудничестве с С. И. Филимоновым и С. П. Капицей. Неизменный интерес к теоретическим вопросам проявлял В. А. Фок, давший ряд ценных советов. Я благодарен моим друзьям и сотрудникам за то, что они принимали участие в моей научной работе, несмотря на трудные условия, в которых она протекала в 1946—1952 гг.

Задачи, стоящие перед электроникой больших мощностей

Электроника охватывает широкий круг физических явлений, связанных с прохождением электрического тока через газ. Следует отметить два важных и интересных физических свойства электрического тока при прохождении его через газ, которые открывают для электротехники совершенно новые возможности и поэтому широко используются на практике.

Первое свойство электрических процессов при прохождении тока через газ заключается в том, что их инерционность исключительно мала, и поэтому ими

73

легко управлять. Со времени открытия электронов физическая причина этого свойства стала понятной: она кроется в том, что заряд переносится электронами, масса которых в несколько тысяч раз меньше массы ионов. При прохождении электрического тока через газ (в отличие от его прохождения через металл) можно быстро и эффективно влиять на движение электронов.

Второе важное физическое свойство электрического тока при прохождении через газ заключается в том, что движение электронов в газе при достаточно высоком разрежении газа осуществляется с очень малым «трением» и поэтому с малыми потерями; это дает возможность сообщать электронам, создающим электрический ток, очень большие скорости. В металле большой ток с малыми омическими потерями осуществляется большим количеством медленно движущихся электронов. В газе, наоборот, ток с теми же потерями можно осуществить малым количеством быстро движущихся электронов, что возможно из-за того, что потери при достаточно низких давлениях практически исчезают.

Свобода движения электронов в газе и малая их инертность уже давно широко используются в электронных лампах, которые обеспечили успешное развитие современной радиотехники (особенно в области сверхвысоких частот); но электронные процессы не достигли еще таких показателей, чтобы они могли быть применены в энергетике. Возможности, которые открываются физическими процессами, сопровождающими прохождение тока через газ, [до сих пор](#) если и используются в энергетике, то только для решения второстепенных задач.

Почему это происходит: может быть, энергетике не нужны быстро протекающие процессы? На этот вопрос нужно ответить отрицательно: электроника больших мощностей может решить ряд важнейших проблем электротехники, еще не решенных и которые без нее не могут быть разрешены. Укажем только на некоторые из этих проблем: передача больших мощностей по волноводам на большое расстояние с малыми потерями;

получение интенсивных, хорошо направленных пучков электромагнитных волн и корпускулярных пучков; прямое использование атомной энергии; эффективный метод разделения изотопов. Даже этого неполного пе-

74

речня достаточно, чтобы показать перспективность развития электроники больших мощностей.

Рассмотрим вопрос: есть ли принципиальные причины, препятствующие развитию электроники больших мощностей? Я думаю, что на этот вопрос следует ответить утвердительно: такие причины есть; хотя на первый взгляд они кажутся незначительными, на самом же деле они пока что оказываются решающими препятствиями. Только преодолев эти препятствия, можно осуществить электронные процессы больших мощностей.

Если электроны движутся в вакууме (в отсутствие ионов), то они образуют облачко, заряженное отрицательно. Благодаря одноименности зарядов происходит их расталкивание, чем нарушается правильность движения. Если облачко имеет небольшую плотность, то расталкивание, вызванное объемными зарядами, мало искажает движение, но по мере увеличения мощности плотность облачка растет и вместе с нею растут расталкивающие силы. Эти силы могут стать столь велики, что при увеличении мощности характер движения электронов может быть полностью нарушен. В обычных электронных приборах, например в радиолампах, это явление наступает при сравнительно небольших мощностях. Поднимать допустимую мощность путем увеличения размеров аппаратуры оказывается малоперспективным, так как можно показать, что линейные размеры должны возрастать как квадрат перерабатываемой мощности, поэтому при достаточно больших мощностях все размеры становятся неосуществимо большими.

Возмущающее действие объемных зарядов является главной причиной, ограничивающей применение электронных процессов при больших мощностях. Каковы же средства борьбы с ограничивающим влиянием объемных зарядов? Этих средств два, и часто их действие очень эффективно.

Первое уже широко используется: это — компенсация объемных зарядов положительными ионами газа. Хорошо известно, что если электронный процесс идет не при высоком вакууме, то отрицательно заряженное облачко электронов пронизывается положительными ионами, которые благодаря своей большой инертности не принимают участия в динамике процесса, но своими зарядами нейтрализуют взаимное расталкивание электронов. Таким путем удается осуществить электронные

75

процессы, в которых участвуют уже значительные мощности. На практике это осуществляется, например, в ртутных выпрямителях, тиратронах и других газонаполненных приборах.

Однако это средство имеет два существенных и неизбежных недостатка, которые в значительной степени обесценивают главные преимущества электронных процессов. Первый недостаток связан с дополнительными потерями, вызываемыми присутствием в рабочем пространстве газовых молекул, с которыми сталкиваются быстро движущиеся электроны. Второй и главный недостаток вызван тем, что присутствие посторонних ионов сильно ограничивает возможность эффективного электрического воздействия на движение электронов.

Другое средство борьбы с объемными зарядами является более действенным: это — компенсация объемных зарядов силами, вызванными движением электронов в постоянном магнитном поле. В качестве примера, иллюстрирующего механизм этого процесса, разберем один из самых простых и известных случаев компенсации магнитным полем вредного действия объемных зарядов, когда облачко электронов движется параллельно силовым линиям магнитного поля. Под влиянием объемного заряда электроны приобретают, поперечные скорости, направленные перпендикулярно к магнитному полю; возникающая при этом сила Лоренца закручивает траектории электронов в плоскости, перпендикулярной к основному движению, и возвращает электроны обратно в облачко. В результате этого облачко при своем движении не расплывается и сохраняет постоянное поперечное сечение.

Фокусирующее действие постоянного магнитного поля хорошо известно и широко используется на практике для компенсации расталкивающего действия объемных зарядов. Это замечательное свойство магнитных полей проявляется и в других, более сложных случаях, когда его часто не замечают, несмотря на то, что физический механизм аналогичен только что разобранным. Магнетрон — это наиболее яркий пример прибора, в котором фокусирующее действие магнитного поля на электронный процесс реализуется в замаскированном виде.

Как известно, магнетрон генерирует колебания сверхвысоких частот, которые возбуждаются равномерным движением электронного облачка, имеющего периоди-

76

ческое распределение плотности зарядов. Осуществить облачко с четко очерченными границами и с высокой плотностью зарядов возможно только благодаря тому, что расталкивающие силы между электронами компенсируются участвующим в процессе постоянным магнитным полем. Это достигается процессом, который называют фазовой фокусировкой. Этим процессом объясняется исключительно большая мощность, которую удается реализовать в современных магнетронах при импульсных режимах. Известно, что она достигает сотен киловатт на квадратный сантиметр рабочей поверхности катода, вокруг которого движется электронное облачко. Правда, такая мощность подается импульсами продолжительностью не больше нескольких микросекунд, но это не меняет принципиальной стороны вопроса, так как время установления электронных процессов составляет ничтожную часть длительности импульса.

Получение таких мощностей на практике показывает, что ограничения, накладываемые объемными зарядами на электронные процессы при больших мощностях, могут сниматься, если движение электронов происходит в постоянном магнитном поле.

Законно поставить вопрос, почему до сих пор электронные процессы в магнитном поле не были использованы для развития мощной сверхвысокочастотной электротехники? Я думаю, что для этого есть три причины,

Первая причина: еще не полностью осознаны большие возможности, скрытые в электронике, для развития электротехники больших мощностей.

Вторая: проблемы, которые могут быть решены электроникой больших мощностей, не имеют еще достаточного научного обоснования.

Третья: физическая сущность явлений, происходящих в соответствующих электронных приборах, теоретически понята в недостаточной степени; не преодолены трудности, связанные с расчетом таких явлений и приборов.

Наши исследования велись с целью продвинуть разрешение этих трех вопросов как в теоретическом, так и в экспериментальном направлении.

Я считал, что самое главное — отыскать наглядный и практически легко используемый метод теоретического рассмотрения электронных процессов, происходящих в постоянном магнитном поле. Неудовлетворительность существующего теоретического уровня можно иллюстри-

77

ровать методом расчета, применяемым обычно при конструировании магнетронов: после многолетней (в основном эмпирической) работы осуществляется большое количество различных магнетронов, среди них отбирают образцы с лучшими показателями; далее на основе математических формул, найденных из теории подобия, эти магнетроны могут быть пересчитаны для других условий работы; при этом они сохраняют свои основные показатели. Магнетроны, найденные таким эмпирическим путем, представляют собой хорошо работающие приборы с к.п.д., достигающим до 60—70%. Такой способ позволяет инженерам-конструкторам удовлетворять запросы радиотехники на сегодня, но, конечно, он не может привести к пониманию и использованию всех возможностей, скрытых в электронике магнетрона.

В наших исследованиях мы прежде всего стремились вскрыть механизм электронных процессов, происходящих в присутствии магнитного поля, и разработать метод их расчета. Эта задача сводится к решению уравнений движения, хотя и хорошо установленных, но достаточно сложных. До сих пор они поддавались только численному интегрированию, с помощью которого трудно выяснить физическую картину рассматриваемых явлений. Метод решения этих уравнений основан на периодичности происходящих процессов, обусловленных как постоянным магнитным полем, так и высокочастотными колебаниями. Если эту периодичность исключить математической операцией усреднения, то получается простое и достаточно точное решение, позволяющее понять физическую картину явлений и приводящее к математическим выражениям, удобным для расчетов. Траектории электронов, которые ранее находились в результате численного интегрирования, этим методом получают в явном виде в элементарных функциях.

Мы показали, как этот метод был применен для решения различных конкретных задач электроники и как полученные результаты подтверждаются опытом. Мы подробно исследовали процессы в планотроне и магнетроне. Планотрон аналогичен магнетрону, но разница заключается в том, что магнетрон как бы замкнут

сам на себя, а планотрон есть магнетрон, который разорван и развернут в плоскости, чем и объясняется данное ему название. Мы также применили наш метод к обычным многокамерным магнетронам и сравнили полученные теоретиче-

78

ские результаты с опубликованными опытными данными,

Мы исследовали резонансное действие высокочастотного поля на круговое (ларморово) движение заряженных частиц и в связи с этим теоретически рассмотрели процесс разделения изотопов, использующий это действие. Расчет проводился методом усреднения и привел к количественному описанию процесса, который может иметь и другие применения.

Наконец, мы дали общий разбор других задач, пока еще весьма проблематичных, которые могли бы быть решены планотроном в электронике больших мощностей. Мы показали, как принципиально можно решить задачу передачи энергии на большие расстояния. Дело в том, что из теории следует обратимость электронных процессов в планотроне и магнетроне, поэтому они не только могут превращать, как сейчас, постоянный ток в высокочастотные колебания, но и обратно — превращать высокочастотные колебания в постоянный ток. Этим открывается возможность передавать электроэнергию по волноводам в виде волн высокой частоты.

Эти соображения имеют довольно проблематичный характер и лишь иллюстрируют то положение, что развитие электроники больших мощностей имеет важное значение для науки и техники.

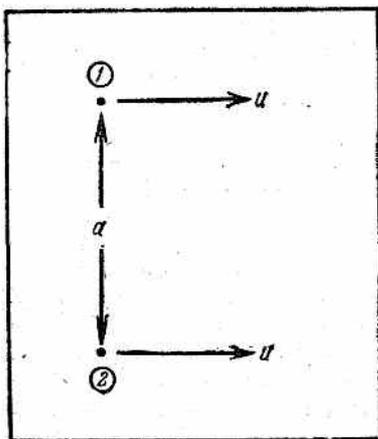
Я хочу напомнить, что электротехника, прежде чем прийти на службу энергетике, в прошлом веке занималась широко только вопросами электросвязи (телеграф, сигнализация и пр.). Вполне вероятно, что история повторится: теперь электроника используется главным образом для целей радиосвязи, но ее будущее лежит в решении крупнейших проблем энергетике.

О НЕКОТОРЫХ ЭТАПАХ РАЗВИТИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ МАГНЕТИЗМА

Речь на открытии Международной конференции по магнетизму 1973

Меня просили сказать вступительное слово при открытии конференции. Как это ни печально для меня, но, видимо, я являюсь одним из самых великовозрастных членов этого собрания, и поэтому я принял почетное предложение провести первое заседание конференции,

79



Моя дипломная работа при окончании Политехнического института в 1918 г., сделанная в лаборатории А. Ф. Иоффе, относилась к магнетизму, и с тех пор я остался верным этой области физики. Я надеюсь, что для вас будет интересно, если на основе моего многолетнего участия в этой области я вспомню о том, какие этапы в развитии магнетизма за это время произвели на меня наибольшее впечатление. Начну с рассмотрения весьма простого явления. В точке 1 находится заряд e см. рисунок). Тогда на расстоянии a от него в точке 2 возникает электрическое поле напряженностью

$$E=e/a^2. \quad (1)$$

Если в точке 2 будет находиться заряд e' то между обоими зарядами возникнет механическая сила электростатической природы:

$$F_e = ee'/a^2. \quad (2)$$

Если заряд e движется со скоростью u , то в точке на расстоянии a возникает еще магнитное поле напряженностью

$$H = (u/c)(e/a^2), \quad (3)$$

где c — скорость света. Если заряд e' в точке 2 движется параллельно заряду e с той же скоростью u , то на него действует сила электромагнитной природы. Как хорошо известно, она равна

$$F_m = (u^2/a^2)(ee'/a^2). \quad (4)$$

Таким образом, полная сила между параллельно движущимися зарядами будет равна

$$F = F_e + F_m = \frac{ee'}{a^2} \left(1 - \frac{u^2}{c^2} \right). \quad (5)$$

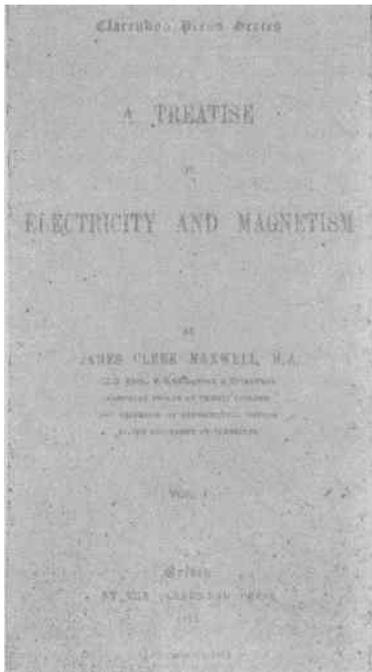
80

Отсюда видно, что основная сила создается электростатическим взаимодействием и из нее вычитается сила магнитного взаимодействия (член с коэффициентом u^2/c^2), которая возникает при движении зарядов e и e' в магнитном поле.

Теперь положим, что наблюдатель тоже движется с той же скоростью и параллельно зарядам. Тут мы встречаемся с парадоксом, так как этот наблюдатель, в отличие от покоящегося, будет описывать ту же силу взаимодействия частиц как чисто электростатическую. Для него магнитное поле как бы не будет существовать. Этот простой пример наглядно выявляет природу электромагнитного поля, и я его обычно привожу на лекциях студентам. В наши дни этот парадокс хорошо объясняется теорией относительности. Я вспомнил о нем, так как в несколько более общей форме он разбирается у Максвелла в последней главе его «Трактата по электричеству и магнетизму». Но в то время трактовка

этого явления вызывала существенные затруднения.

Я привел этот пример для того, чтобы привлечь ваше внимание к тому, что первое издание «Трактата» Максвелла вышло ровно 100 лет тому назад. (На рисунке воспроизведена заглавная страница этой замечательной книги, которую я купил еще в 1921 г. за несколько шиллингов у букиниста на рынке в Кембридже.) Я думаю, что нашей конференции, посвященной магнетизму, нельзя пройти мимо этой юбилейной даты. Если «Principia» Ньютона являются теоретическим обобщением экспериментальных работ Галилея и положили основу механики, то «Трак-



81

тат» Максвелла следует рассматривать как теоретическое обобщение экспериментальных работ Фарадея, положившее основу современной электродинамики.

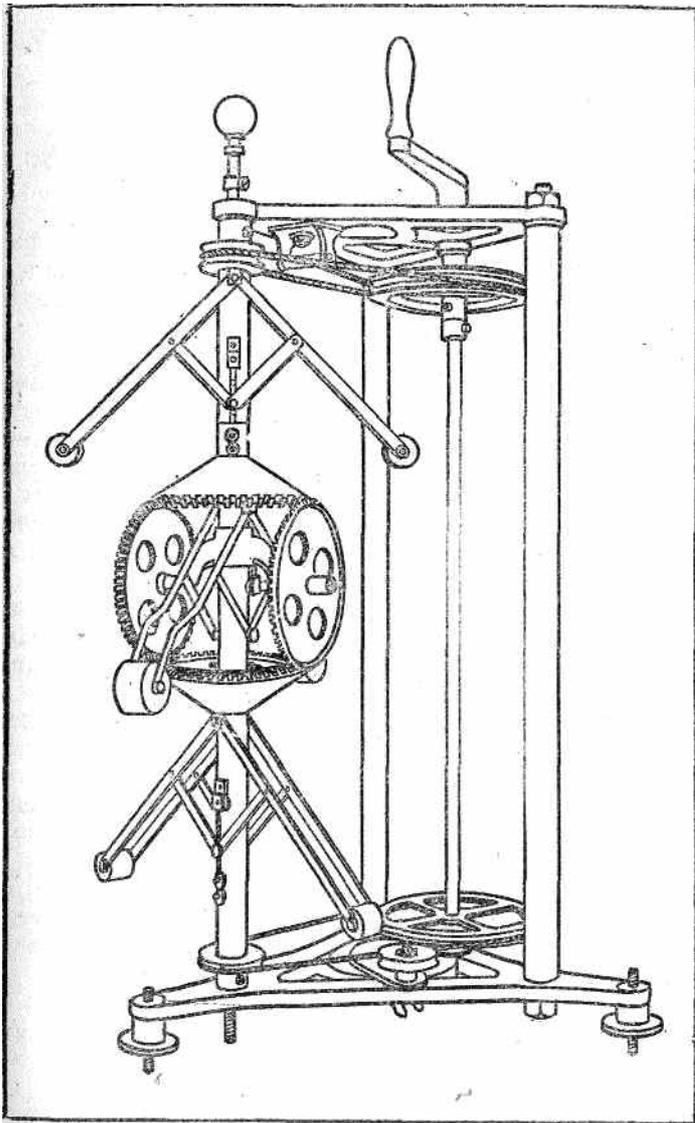
В связи с этой юбилейной датой «Трактата» я хочу сказать несколько слов о нем, к тому же сейчас мало кто его читает, хотя там можно найти ряд жемчужин как по постановке интересных и по сей день задач, так и по оригинальной методике их решения.

«Трактат» сейчас воспринимается очень легко, и его чтение доставляет большое эстетическое удовольствие, но прежде, даже лет через 15—20 после его опубликования, он воспринимался с трудом. Это хорошо видно из опубликованных в 1891 г. лекций Людвиг Больцмана по максвелловской теории (L. Boltzmann, Vorlesungen über die Maxwells Theorie, Lpz., 1891). Даже для такого большого ученого, каким был Больцман, в те времена восприятие максвелловского учения об электромагнитном поле давалось с большим трудом. Это видно из того, как он пытался конкретизировать механическими моделями динамику процессов, происходящих в электромагнитном поле. Одна из этих моделей, которые Больцман приводит в своих лекциях, изображена на рисунке на стр. 83. Я думаю, что сложность ее конструкции, даже без детального рассмотрения, достаточна, чтобы продемонстрировать трудность, с которой Больцман воспринимал теорию Максвелла.

Теперь восприятие максвелловского представления об электромагнитном поле не вызывает трудностей. Экзаменуя студентов, я неизменно обнаруживаю, что они лучше знают и понимают электромагнитные процессы, чем, например, механику гироявлений. По-видимому, это связано с тем, что они начинают еще в юности знакомиться с радиоприемниками и телевизорами. Некоторые преподаватели сейчас предлагают делать обратное тому, что делал Больцман, т. е. изучать механику на основе электродинамики.

Я надеюсь, что вы согласитесь со мной, что нашей конференции следует если и не особо отметить эту юбилейную дату, то, во всяком случае, вспомнить о роли «Трактата».

Приведенный пример с взаимодействием зарядов поучителен еще по одной причине: из него непосредственно следует, что всегда магнитное поле H создается зарядами, движущимися по отношению к наблюдателю.



Следовательно, изучая магнитное поле, создаваемое намагниченными телами, можно определить положение и Движение зарядов в материальной среде. Это есть один
83

из основных и могущественных методов познания электрической природы материи. Этому и посвящено исследование магнитных явлений.

Согласно выражению (3) поле, создаваемое движущимся зарядом, обратно пропорционально квадрату расстояния и пропорционально скорости его движения. Это как бы обобщает закон Био — Савара для элемента электрического тока, открытый еще в 1820 г. Справедливость этого обобщения нуждается в прямой экспериментальной проверке. Оказалось, что сделать это непосредственно и точно — трудная экспериментальная задача. Это вызвано тем, что, согласно выражению (3), магнитное поле пропорционально отношению скорости движения заряда u к скорости света c . Поскольку скорость u надо создавать механическим движением, то по сравнению со скоростью света она весьма мала, и поэтому поле, которое надо мерить, тоже очень мало. Первый, кому удалось это осуществить (1876 г.), был Роуланд — один из искуснейших экспериментаторов того времени. Ему удалось проверить этот закон, но только весьма приближенно. Потом лучший результат получил Рентген (1885 г.). Но наиболее точные результаты были получены А. А. Эйхенвальдом в 1903— 1904 гг. в опытах, проведенных в Московском университете. Когда был открыт электрон и определена его масса, то, ускоряя электроны в заданном электрическом поле при их свободном движении в вакууме, получили возможность точно определять их скорость. Таким путем, измеряя магнитное поле, создаваемое пучком электронов, А. Ф. Иоффе в 1911 г. с хорошей точностью проверил закон Био — Савара.

Открытие, что носители тока — электроны кроме заряда обладают еще определенной массой, привело к важному выводу, что всякое намагниченное тело, если его магнитный момент создается движением электронов, должно обладать гиromеханическим моментом и отношение этих моментов равно $e/2m$. В 1908 г. Ричардсон указал, что это отношение можно проверить экспериментально по измерению гиromомента, но поскольку даже у намагниченного железа он очень мал, то экспериментально его наблюдать очень трудно. В 1914 г. экспериментально это удалось сделать Барнетту. Опыт заключался в следующем: если вращать железный цилиндр и считать, что атомы железа являются

84

как бы гироскопами, то направления их моментов, так же как это происходит с обычным гироскопом, будут отклоняться в направлении оси вращения. Следовательно, цилиндр должен приобретать в том же направлении магнитный момент. Барнетту удалось наблюдать этот эффект. Эксперимент был очень трудным, так как намагничивание было очень мало, поэтому достаточно точно он его измерить не смог.

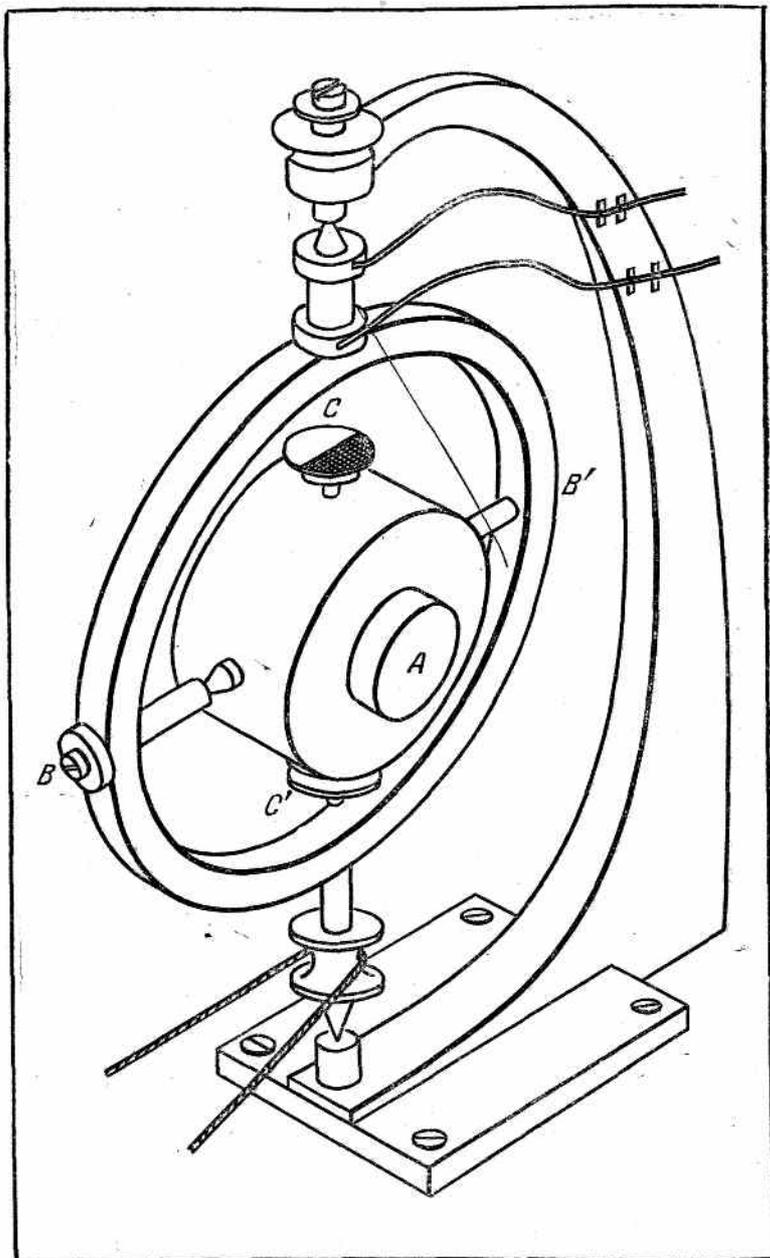
Другой путь — найти отношение магнитного момента к гиromоменту — был осуществлен опытом, носящим имя Эйнштейна — де Гааза. Эксперимент заключался в том, что при периодическом перемагничивании свободно подвешенного ферромагнитного цилиндра должны возникать крутильные колебания, измерив которые можно определить отношение $e/2m$. Этот опыт тоже требует большого экспериментального искусства; он был осуществлен в Лейдене в 1915 г., но точность его результатов сперва также была низкой.

До сих пор во всех известных мне энциклопедиях и курсах физики не было отмечено, что идея этих опытов уже высказана Максвеллом в его «Трактате». Максвелл допускает, что электрический ток может обладать инертной массой, и приводит два эксперимента, осуществленных им для ее обнаружения. В «Трактате» они описаны в §§ 574 и 575.

На рисунке на с. 86 воспроизведено изображение прибора, на котором поставлен опыт в 1861 г. Горизонтально расположен железный цилиндр *A*, который можно намагничивать, пропуская ток через окружающую его обмотку. Он подвешен, как обычно подвешивается маховик в гироскопе. Всю эту систему можно было вращать около вертикальной оси. Если бы при намагничивании железный цилиндр приобретал механический момент, его ось должна была бы поворачиваться по направлению вертикальной оси вращения. Этот поворот магнита можно заметить, наблюдая за диском *C*, половина которого окрашена в красный цвет, другая — в зеленый. При вращении диск, благодаря смешению цветов, выглядит белым. Если намагниченный цилиндр начнет поворачиваться, в центре диска появится зеленое либо красное пятно, в зависимости от направления поворота.

Когда я был в Кембридже, в Кавендишской лаборатории, я нашел этот прибор в одном из шкафов со

85



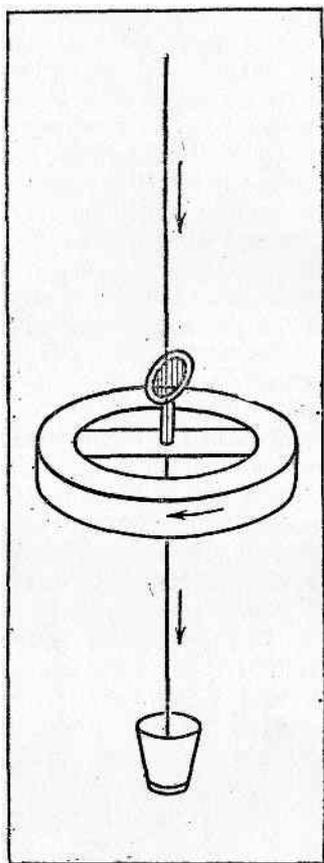
86

старыми приборами. Как нетрудно видеть, идея этого опыта весьма близка к эксперименту Барнетта. Устройство для другого опыта Максвелла воспроизведено здесь на рисунке. Это свободно подвешенная горизонтальная катушка, через которую по подвесам пропускают ток. По зайчику от зеркала, прикрепленного к катушке, Максвелл пытался обнаружить колебания катушки при пропускании через нее тока. Этот опыт по идее совпадает с опытом Эйнштейна — де Гааза. Максвелл в своем «Трактате» пишет, что в обоих опытах ему не удалось обнаружить механический - момент, связанный с прохождением тока. Зная теперь действительную величину эффекта, мы вполне понимаем, что в опытах Максвелла на несколько порядков не хватило чувствительности, необходимой, чтобы обнаружить эффект.

Как известно, ни Барнетту, ни Эйнштейну и де Гаазу из-за трудности эксперимента сначала не удалось правильно определить отношение магнитного момента к механическому. Впоследствии, при правильном определении этого отношения, оно оказалось в два раза больше ожидавшегося. Этот неожиданный результат оказался чрезвычайно важным для установления спиновой природы самого электрона.

Я вспомнил об этих опытах, так как думаю, что справедливость требует хотя бы раз в сто лет отметить участие идей Максвелла в этих исследованиях.

В 1921 г. я приехал в Англию и стал научным сотрудником Кавендишской лаборатории, которой руко-



87

водил Резерфорд. Одна из первых моих работ возникла из идеи наблюдать пробег α -частиц в камере Вильсона в магнитном поле, чтобы по изгибам треков можно было мерить скорость каждой отдельной частицы. До того времени камера Вильсона вообще не помещалась в магнитное поле. Для этих опытов нужно было еще найти метод создания сильного магнитного поля, по величине близкого к 100 кЭ, и создать его в катушке достаточных размеров, чтобы в это магнитное поле можно было поместить камеру Вильсона. Технически все это казалось осуществимым, так как время, за которое образовывались треки в камере, составляло ничтожные доли секунды и, следовательно, магнитное поле должно было существовать короткое время. Это снимало основную трудность создания сильных магнитных полей — перегрев катушки. Легко было подсчитать, что за время в несколько сотых долей секунды, в продолжение которого по катушке должен был идти ток, обмотка благодаря своей теплоемкости нагревалась не более чем на 100°C . Главная трудность была связана с необходимостью получить мощный импульсный источник электроэнергии.

В те времена электротехника не располагала, как теперь, конденсаторами большой емкости. Мы вышли из затруднения, построив специальную аккумуляторную батарею, состоящую из свинцовых пластин. Зазор между ними был порядка 1—2 мм и заполнялся серной кислотой. Такая аккумуляторная батарея обладала малой емкостью и малым внутренним сопротивлением. Она давала нам в импульсах необходимую мощность в 200—300 кВт. Все это удалось осуществить, и опыты окончились удачно. Изогнутые треки α -частиц были получены, и их кривизна была промерена. До сих пор изучение пробегов заряженных частиц в камере Вильсона в магнитном поле остается мощным методом познания радиоактивных процессов.

После этого я начал применять импульсный метод получения мощных магнитных полей для изучения магнитных свойств вещества. Хотя это направление не совпадало с основной тематикой Кавендишской лаборатории, Резерфорд все же благожелательно относился к нему и предоставил мне все необходимое для развития этих исследований,

88

Когда я начал заниматься магнитными свойствами вещества, первое, что произвело на меня большое впечатление, были работы, которые велись во Франции, Нужно отметить, что в конце прошлого и в начале этого

столетия во Франции делались наиболее интересные работы по магнетизму. Особенно выделялась группа ученых, состоявшая из Пьера Кюри, Ланжевена и П. Вейса.

Как известно, систематическое исследование магнитных свойств ряда элементов при различных температурах, которое было проведено Пьером Кюри, привело к открытию в 1895 г. одного из самых основных законов магнетизма, который теперь носит имя Кюри.

Теоретические работы Ланжевена по магнетизму, сделанные в 1905 г. на основе работ Кюри, несомненно, заложили фундамент современной теории парамагнитных явлений. Как известно, они исходили из тех представлений статистической механики, которые были даны Больцманом и которые привели к известному закону распределения при заданной температуре в силовом поле. Этот закон был применен Ланжевенем для описания распределения направлений магнитных моментов атомов в намагниченном теле. Таким образом, не только был получен найденный Кюри температурный закон изменения намагничивания, но давалась также количественная связь магнитного момента атома с величиной магнитной восприимчивости.

В контакте с Ланжевенем и Кюри работал тогда Вейс. Его работы относились к изучению ферромагнетизма. Эти исследования следует рассматривать как классические, так как они выявили существование молекулярного поля и дали понимание процессов намагничивания, происходящих в ферромагнитных кристаллах.

Надо отметить, что у Вейса возникла идея существования «магнетона» — единицы магнитного момента атома. Он хотел подтвердить эту идею экспериментально, но в конечном итоге это ему не удалось, так как теоретический фундамент тогда был еще недостаточен. Хотя идея Вейса была правильна, свое теоретическое обоснование она получила лишь после создания на основе квантовой теории модели атома Бора.

Для вычисления величины магнетона метод, примененный Вейсом, был непригоден. Как известно, магнетон Бора был обнаружен и определен в классическом

89

опыте Штерна и Герлаха по расщеплению молекулярного пучка в магнитном поле.

В то время считалось, что дальнейшее развитие исследований магнитных явлений нужно вести в двух основных направлениях. Первое — это увеличение интенсивности магнитного поля, второе — понижение температуры. Этими путями стремились достичь того, чтобы энергия взаимодействия атомов с магнитным полем была больше, чем тепловая. Очевидно, что при этом магнитные свойства вещества должны были выявляться более полно. Поэтому Вейс неизменно вел работы по усовершенствованию своего электромагнита: улучшалась форма ярма, для обмотки применялось водяное охлаждение, полюсные наконечники делались из кобальтовой стали.

В те годы талантливый физик Коттон тоже включился в эти работы. Сперва в Бельвю он построил большой для того времени электромагнит, несколько улучшив конструкцию Вейса, но не смог получить даже в очень малом объеме поле более 70 кЭ. Тогда он занялся получением поля в интенсивно охлаждаемой водой катушке, но не достиг сколько-нибудь значительных результатов. Как известно, сейчас этот метод получения стационарного магнитного поля широко распространен. Наиболее успешно он осуществлялся в Гарварде, в Биттеровской лаборатории, где таким путем получали стационарные поля около 200 кЭ.

Нетрудно было увидеть, что для получения ряда магнитных явлений достаточно было создавать сильное магнитное поле на долю секунды, поэтому я стал разрабатывать свой импульсный метод. Чтобы повысить интенсивность поля, первым делом нужно было иметь более мощный источник импульсной энергии. Для этого был построен специальный импульсный генератор, который за счет кинетической энергии ротора в продолжение одной сотой секунды давал мощность около 200 МВт. Для построения этого генератора фирмой «Виккерс» в Манчестере Резерфорд не без труда достал необходимую сумму в 3 тыс. фунтов стерлингов, что по тому времени в научной работе считалось исключительно крупной суммой. Располагая такой мощностью, нам удалось получить поля в пределах от 300 до 400 кЭ в достаточном для эксперимента объеме (несколько кубических сантиметров),

90

Ограничивающим фактором для дальнейшего повышения интенсивности магнитного поля стала теперь прочность катушки. Нетрудно подсчитать, что внутри соленоида при поле H как бы возникает гидростатическое давление, не меньшее чем

$$p = \frac{H^2}{8\pi} \cdot 10^{-6} \text{ кгс/см}^2.$$

Из этой формулы следует, например, что при поле в 500 кЭ давление p достигало 10 тыс. атм. Чтобы катушка не разлеталась со взрывом, что у нас не раз бывало, возникла необходимость делать специальные прочные катушки, употребляя для этого вместо меди кадмиевую бронзу и укрепляя обмотку снаружи стальными бандажами. В одних и тех же объемах достигнутые нами поля были примерно на порядок выше, чем в электромагнитах.

В этих сильных импульсных полях нами проводилось исследование магнитных свойств ряда элементов, их намагничивание. Мы тогда изучали также их магнитострикцию и нашли ее не только у ферромагнетиков, наблюдали в спектрах эффект Пашена — Бака. Но наиболее интересными оказались гальваномагнитные явления.

Электронная теория электропроводности в то время предсказывала квадратичный закон для изменения сопротивления в магнитном поле; затем сопротивление должно было довольно резко достигать предела. На самом же деле в наших опытах во всех без исключения металлах как при нормальной температуре, так и при температуре жидкого азота и водорода нами наблюдалось линейное изменение сопротивления без признаков насыщения.

Исключение составляли элементы, обладающие плохой проводимостью, которая сильно зависит от температуры и примесей. К таким элементам относятся, например, теллур, германий и др., которые потом стали называть полупроводниками. Только у них изменение сопротивления происходило вначале по квадратичному закону с последующим насыщением, как и следовало по предсказаниям для металлов. На это первым обратил внимание Герней, и, как известно, такой ход изменения электропроводности дал возможность понять ее природу в полупроводниках,

91

Что касается металлов, то их гальваномагнитные свойства, несмотря на ряд попыток их объяснить, так и оставались без объяснения в продолжение почти 30 лет, пока это не удалось сделать И. М. Лифшицу в его замечательных работах. Это стало возможным благодаря более глубокому пониманию квантовых процессов в металлах, приведшему к выяснению связи гальваномагнитных свойств со структурой электронного энергетического спектра и, в частности, с формой поверхности Ферми металлов.

Вообще моим работам по гальваномагнитным явлениям в сильных магнитных полях сильно не везло, так как они часто прерывались по непредвиденным обстоятельствам. В 1934 г. они были прерваны в связи с тем, что я не смог более продолжать свои работы в Кембридже. Когда установка с мощным генератором для получения сильных магнитных полей благодаря любезности Резерфорда была перевезена в Москву и тут восстановлена, мои работы вскоре были прерваны эвакуацией, связанной с войной. После окончания войны и возвращения в Москву только я начал работать, как был вынужден покинуть институт на 7 лет, и лишь в 1954 г. я смог в него вернуться. За эти годы мои интересы переместились в область электроники и плазмы. Хотя работы в области магнетизма и продолжались в нашем институте, но я сам уже не возобновлял своего участия в них.

Вторым основным направлением в исследованиях магнитных явлений вещества было понижение температуры. Тут, конечно, наиболее интересные результаты были получены после того, как был оживлен гелий и достигнуты температуры вблизи абсолютного нуля. Это, как известно, было сделано в 1908 г. Камерлинг-Оннесом в Лейдене. Когда я начал работы в Кембридже в 20-х годах, Лейден был единственным местом, где оживляли гелий, и тогда только начались работы Мак-Леннана в Торонто и Мейснера в Шарлоттенбурге. Насколько я помню, тогда в Лейдене оживляли не более 2—3 литров гелия в неделю, но с этим количеством делали исключительно интересные опыты; была открыта сверхпроводимость и еще ряд других интересных явлений. Я думаю, что в области изучения свойств вещества при низких температурах за последнее столетие из всех научных центров Лейденскую лабораторию

92

нужно считать наиболее значительной. Пожалуй, не будет преувеличением сказать, что все крупные открытия в области магнетизма при низких температурах, кроме мейснер-эффекта, были сделаны в Лейдене.

Вызывает удивление, как в небольшой стране, в одном университетском центре последовательно появлялись такие крупнейшие физики-экспериментаторы, как Ван-дер-Ваальс, Камерлинг-Оннес, де Гааз, Кеезом, а также крупнейшие физики-теоретики, какими были Лоренц, Эренфест. Ведущий уровень научных исследований в

области магнетизма сохраняется в Лейдене и по сегодняшний день работами профессора Гортера, который принимает участие в нашей конференции, и его сотрудников.

Какие же основные направления исследований имеют место теперь? Я вкратце их перечислю

Импульсный метод в области сильных магнитных полей пока дает для них рекордные значения. Но пользоваться этим методом стало много проще, так как сейчас источником мощности служат изготавливаемые во множестве промышленностью конденсаторы большой емкости. Вопрос прочности катушек теперь решается тоже проще: их делают без особого армирования, но используя тот факт, что давление от магнитного поля имеет характер импульса, и его сейчас стали компенсировать возникающими в обмотке катушки при ее деформации вязкостными силами. На практике это связано с необходимостью значительно сократить продолжительность импульса, которая сейчас лежит вблизи $1/1000$ секунды. Обычно после каждого опыта катушка несколько деформируется и поэтому годится для ограниченного числа опытов. Но все же, даже таким путем, в объеме нескольких кубических сантиметров достигнутая величина поля по-прежнему не больше 500 кЭ.

Были достигнуты магнитные поля значительно большей величины путем адиабатического сжатия магнитного потока, образованного в проводящем цилиндре. Это сжатие осуществлялось производимым снаружи цилиндра взрывом. По-видимому, таким путем удавалось получать поля свыше мегаэрстеда. Но надо еще суметь использовать это поле для эксперимента, который должен быть осуществлен как бы внутри бомбы во время ее взрыва. Как мне известно, это пока не

93

удалось, и трудно себе представить, осуществимо ли это вообще.

Получать сильные магнитные поля, используя сверхпроводники второго рода, сейчас оказывается весьма полезным для ряда экспериментов, где нужно стабильное однородное поле,— тут сверхпроводящий соленоид дает большие преимущества. Но, несмотря на то, что существуют сплавы, в которых сверхпроводимость не разрушается даже при очень сильных полях, предел для величины поля по-прежнему будет обусловлен прочностью обмотки сверхпроводящей катушки. По-видимому, осуществить более прочную конструкцию катушки из сверхпроводников по техническим причинам труднее, чем обычную прочную конструкцию из меди. Поэтому в сверхпроводящих соленоидах вряд ли удастся получить поля значительно большие, чем в охлаждаемой водой катушке, т. е. около 200 кЭ.

Что касается области низких температур, то сейчас с увеличением числа областей исследований, где используется жидкий гелий, его стали применять в большом количестве; так, у нас в институте дневное потребление жидкого гелия доходит до 350 литров. Это, конечно, вызвано широким применением сверхпроводящих соленоидов.

Большой прогресс в получении наиболее низких температур достигнут благодаря использованию гелия-3 и его смеси с гелием-4. Наиболее распространенный сейчас метод предложен Лондоном и осуществлен Негановым. Предельные температуры, которые достигаются при охлаждении вещества таким путем, близки к $1/1000$ К. Очень похоже, что это близко к практическому пределу, так как существует температурный скачок, который при этих температурах почти прекращает теплопередачу. Это явление более 30 лет назад было обнаружено мною, и меня часто упрекают, что я ответствен за то, что оно сильно мешает понижать температуру!

Теперь в магнитных исследованиях все острее ставится вопрос о необходимости изучения особо чистых веществ и особо совершенных кристаллов. Прогресс в этой области связан с развитием радиоактивационного метода анализа, который дает возможность обнаруживать и контролировать примеси до $10^{-6}\%$, даже если они относятся к легким элементам. По-видимому, в ближайшем будущем возникнет необходимость изучения

94

изотопно однородных веществ. Для этого должен быть развит более широкий метод разделения изотопов.

Все перечисленные направления появились уже в годы моей молодости, но за последние годы возникли новые. Наиболее важные из них связаны с открытием в 1944 г. Е. К. Завойским парамагнитного резонанса, Оно было сделано молодым тогда ученым, работавшим совершенно самостоятельно в Казанском университете. Мне хорошо помнится, что, когда он сообщил в Москве результаты своих исследований, это вызвало недоверие. Но за несколько дней он воспроизвел свои опыты в нашем институте, и для всех не осталось сомнений, что было сделано крупнейшее открытие. После открытия Завойского изучение резонансных явлений в высокочастотных полях распространилось на ряд областей.

Оказалось, что в любом веществе, где есть элементарные магнитные моменты, будь то атомы, будь то ларморовские орбиты, будь то спины электронов или ядер атомов,— под воздействием магнитного поля происходят изменения собственных частот колебаний магнитных моментов, которые изучаются путем резонанса. Эти частоты лежат обычно в области от радио- до микроволн. Этот диапазон волн имеет сейчас большое практическое значение в радио, телевидении, радиолокации, что дает возможность для исследований магнитных моментов использовать накопленный технический опыт.

Сейчас в ряде областей очень широко ведутся работы не только по парамагнитному, но и по ядерному, циклотронному и другим резонансам.

Пожалуй, ни один метод изучения магнитных свойств вещества не давал еще такую богатую информацию, как найденный Завойским резонансный.

На меня лично, например, большое впечатление производит измерение магнитных полей путем ядерного магнитного резонанса. Как известно, сейчас этот метод позволяет с очень простой установкой измерять поле с точностью до долей процента. Я помню, как в прежние времена, чтобы измерить магнитное поле с точностью на порядок или два меньшей, Пикар и Кот-тон строили специальные весы и тратили на эти работы больше года.

К новым явлениям, используемым при изучении магнитных свойств веществ, следует отнести эффект Мёсс-95

бауэра и туннельный эффект, предсказанный Джозефсоном. Как хорошо известно, эти эффекты дали возможность создать методы, позволяющие при измерении атомных частиц и магнитных полей достичь фантастически малых величин.

Теперь я коснусь вопроса, что, с моей точки зрения, можно предвидеть в будущем в области электромагнитных явлений. Многие утверждают, что в металлах, полупроводниках и диэлектриках теперь все основные электромагнитные явления могут быть достаточно хорошо поняты и количественно описаны и что все дальнейшие исследования будут сводиться только к детализированию этих явлений.

Мне думается, что это неправильно. Возьмем хотя бы полимеры, которые, как известно, состоят из атомных цепей и в которых ряд основных процессов еще совсем не понят. Ведь живой организм состоит из таких цепочек и из них формируются мускулы, нервные волокна. Теперь мы знаем, что все жизненные процессы имеют электромагнитную природу и связаны с прохождением тока по этим волокнам. Но мы до сих пор не знаем физической природы этих процессов, хотя биологи и говорят, что они их понимают. Но, несмотря на это, я буду скептиком до тех пор, пока полимерные волокна — как нервные, по которым передается информация, так и мускульные, которые могут сокращаться,— не будут воспроизведены искусственно в лаборатории. Только тогда эти процессы можно будет считать разгаданными.

В молекулярных цепях можно ожидать много новых явлений. И не только сверхпроводимость, но и сверхдиэлектричность. Возможное открытие сверхдиэлектриков с достаточно высокой диэлектрической постоянной, способных совсем без потерь отражать высокочастотные поля, имело бы большое практическое значение не только при передаче информации по волноводам на большие расстояния, но и в энергетике больших мощностей.

Только за последние годы интерес к этой области исследований начал развиваться.

Ученым следует помнить, что самые важные и интересные научные открытия — это те, которые нельзя предвидеть,

96

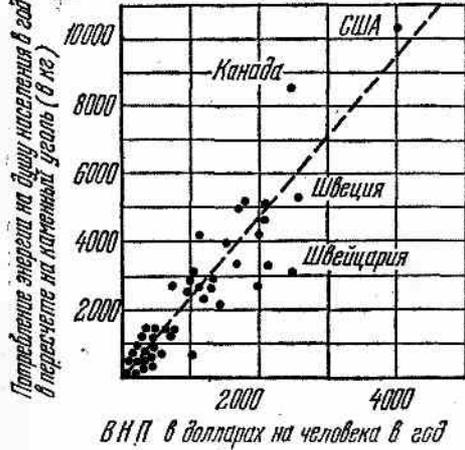
Еще Шекспир сказал устами Гамлета: «Есть многое на свете, друг Горацио, что и не снилось нашим мудрецам», («There are more things in heaven and earth, Horatio, than are dreamt of in your philosophy».)

Поэтому не следует бояться, что в будущем настанет время, когда на конференции по магнетизму не будет интересных вопросов для обсуждения.

Открывая конференцию по магнетизму, я не сомневаюсь, что она будет интересной, Желаю вам плодотворной работы!

1975

Общепризнанно, что основным фактором, определяющим развитие материальной культуры людей, является создание и использование источников энергии. Производимая ими работа теперь во много раз превосходит мускульную. Так, в наиболее развитых странах используемая мощность разнообразных источников энергии составляет до 10 киловатт на человека в год. Это по



97

крайней мере в 100 раз больше, чем средняя мускульная мощность одного человека.

Роль энергии в народном хозяйстве хорошо иллюстрируется рисунком [1]. (Данные относятся к 1968 г.; составлены по материалам ООН и Международного банка реконструкции и развития.) По горизонтальной оси отложена стоимость валового национального продукта (ВНП) для различных стран (в долларах на человека), а по вертикали — потребление энергии в пересчете на каменный уголь (в килограммах на человека).

В пределах естественной флуктуации видно, что существует простая пропорциональность. Поэтому, если люди будут лишаться энергетических ресурсов, то, несомненно, их материальное благосостояние будет падать.

Получение, преобразование и консервирование энергии и есть фундаментальные процессы, изучаемые физикой. Основная закономерность, которую установила физика, — это закон сохранения энергии. На основании этого закона предсказывается глобальный кризис в получении энергии [1]. Сейчас в качестве основных энергетических ресурсов используются торф, уголь, нефть, природный газ. Установлено, что запасенная в них химическая энергия была накоплена в продолжение тысячелетий благодаря биологическим процессам. Статистические данные по использованию этих ресурсов показывают, что в ближайшие столетия они будут исчерпаны. Поэтому, на основе закона сохранения энергии, люди, если они не найдут других источников энергии, будут поставлены перед необходимостью ограничения ее потребления, и это приведет к снижению уровня материального благосостояния человечества.

Неизбежность глобального энергетического кризиса сейчас полностью осознана, и поэтому энергетическая проблема для техники и науки стала проблемой № 1. Сейчас в ведущих странах отпускаются большие средства на научно-технические исследования в этой области. Главное направление этих поисков обычно ведется с узкотехническим подходом, без достаточного учета тех закономерностей, которые установлены физикой. Жизнь показала, что эффективность исследований значительно повышается, если они ведутся с более глубоким учетом базисных законов физики.

98

В моем сообщении я хочу отметить те закономерности физики, которым следовало бы играть ведущую роль в решении энергетических проблем.

Энергия, которой пользуются люди, делится теперь на две части. Первая — это так называемая бытовая энергия. Она непосредственно обеспечивает культурный образ жизни. Эта энергия используется для освещения, для питания холодильников, телевизоров, электробритв, пылесосов и большого количества других приборов, которыми пользуются в повседневной жизни. Используемая в быту мощность исчисляется обычно киловаттами. Другой вид энергии — это промышленная энергия, энергия больших мощностей. Ее используют в металлургии, на транспорте, в машиностроении, в механизации строительства и сельского хозяйства и ряде

подобных областей. Эта энергия значительно больше бытовой, мощность ее исчисляется в мегаваттах, ее масштабы и стоимость определяют уровень валового продукта в народном хозяйстве страны. Конечно, предстоящий кризис будет вызван недостатком ресурсов энергии только в энергетике больших мощностей; обеспечение получения этой энергии в достаточном количестве и является основной проблемой, которая ставится перед наукой.

Я уже сказал, что предсказания предстоящего энергетического кризиса делаются на основе закона сохранения энергии. Как известно, большую роль в ограничении возможности использования энергетических ресурсов играет также закон, требующий во всех процессах преобразования энергии возрастания энтропии. Оба эти закона накладывают «вето» на преодоление кризиса путем создания «перпетуум мобиле». Закон сохранения энергии накладывает «вето» на «перпетуум мобиле» 1-го рода. Энтропия накладывает «вето» на так называемый «перпетуум мобиле» 2-го рода. Интересно отметить, что этот второй род «перпетуум мобиле» и по сей день продолжают предлагать изобретательные инженеры, и часто опровержение такого рода устройств связано с большими хлопотами. Эта область относится к термодинамике, она хорошо изучена, и я на ней останавливаться не буду.

Я ограничусь рассмотрением закономерностей, которые определяют развитие энергетике больших мощностей и связаны с существованием в природе ограничений для плотности потока энергии. Как будет видно, 99

часто эти ограничения не учитываются, что ведет к затратам на проекты, заведомо бесперспективные. Это и будет основной темой моего доклада.

Все интересующие нас энергетические процессы сводятся к трансформации одного вида энергии в другой, и это происходит согласно закону сохранения энергии. Наиболее употребительные виды энергии — электрическая, тепловая, химическая, механическая, а теперь и так называемая ядерная. Трансформацию энергии обычно можно рассматривать как происходящую в некотором объеме, в который через поверхность поступает один вид энергии, а выходит преобразованная энергия.

Плотность поступающей энергии ограничена физическими свойствами той среды, через которую она течет. В материальной среде плотность потока энергии U ограничивается следующим выражением:

$$U < vF, \quad (1)$$

где v — скорость распространения деформации, обычно равная скорости звука, F — плотность энергии, которая может быть либо упругой, либо тепловой. U есть вектор. (При стационарных процессах $\text{div}U$ определяет величину преобразования энергии в другой вид.) Вектор U оказывается весьма удобным для изучения процессов преобразования энергии. Впервые он был предложен сто лет тому назад (в 1874 г.) русским физиком Н. А. Умовым. Десятью годами позже такой же вектор для описания энергетических процессов в электромагнитном поле был дан Дж. Пойнтингом. Поэтому у нас принято называть его вектором Умова — Пойнтинга. Если выражение (1) применить для газовой среды, то оно приобретет следующий вид:

$$U = AT^{1/2}p, \quad (2)$$

где A — коэффициент, зависящий от молекулярного состава газа, T — температура и p — давление газа.

Выражение такого вида определяет, например, ту предельную мощность, которую может передать горячая среда на единицу поверхности поршня мотора или лопаток турбины. Как видно, эта мощность падает с падением давления; поэтому такое же выражение определяет ту предельную высоту, на которой может летать турбореактивный самолет.

Используя вектор Умова — Пойнтинга, можно описывать даже процессы, когда энергия передается ре-

100
менной передачей. Тогда произведение скорости ремня на его упругое напряжение дает мощность трансмиссии. Таким же путем можно определить предельную мощность, передаваемую лентой в генераторе типа Ван-де-Граафа.

Мне пришлось на практике встретиться с технической проблемой, когда недостаточная плотность потока электрической энергии ограничивала осуществление решения этой проблемы на практике. Это произошло при следующих поучительных обстоятельствах.

В 40-х годах мой учитель А. Ф. Иоффе занимался разработкой оригинального электростатического генератора, который питал небольшую рентгеновскую установку. Этот генератор был прост по своей конструкции и

неплохо работал. Тогда у Иоффе возникла идея заменить в широком масштабе электромагнитные генераторы на электростатические и перевести на них всю большую электроэнергетику страны. Главным основанием было то, что электростатические генераторы не только проще по своей конструкции, но могут сразу давать высокое напряжение для линий передач. Мне пришлось тогда опровергать осуществимость этого проекта, исходя из оценки плотности потока электроэнергии при трансформации ее в механическую.

Определим, согласно выражению (1) для V , плотность потока энергии, которая в зазоре между ротором k статором генератора преобразуется из механической в электрическую или обратно. Тогда v будет равна окружной скорости ротора генератора. По конструктивным соображениям эта скорость обычно берется около 100 м/с. Тангенциальные силы взаимодействия между статором и ротором в электромагнитном генераторе определяются энергией магнитного поля, поэтому мы имеем для плотности потока энергии:

$$U = \alpha \frac{H^2}{4\pi} v. \quad (3)$$

Коэффициент α определяется конструкцией генератора и характеризуется косинусом угла, образованного силой F и скоростью v . Обычно α имеет величину, равную нескольким десятым долям единицы. Магнитное поле H определяется насыщением железа и не превышает $2 \cdot 10^4$ Э. При этом плотность потока электроэнергии (которая трансформируется в механическую или обрат-

101

но) получается около 1 кВт на 1 см^2 . Таким образом, для генератора мощностью 100 МВт ротор будет иметь рабочую поверхность примерно около 10 м^2 .

Для электростатического генератора плотность потока энергий U будет равна

$$U = \alpha \frac{E^2}{4\pi} v, \quad (4)$$

где электростатическое поле E ограничивается электрической прочностью воздуха и не превышает $3 \cdot 10^4$ В/см, или 100 э.-с.е. Поэтому, чтобы получить ту же мощность в 100 мегаватт, потребуется ротор с поверхностью, в $(H/E)^2 \approx 4 \cdot 10^4$ раз большей, т. е. равной $4 \cdot 10^5 \text{ м}^2$, или примерно половине квадратного километра. Таким образом, электростатический генератор больших мощностей получается практически неосуществимых размеров.

Аналогичный анализ показывает, что ограничение плотности потока энергии приводит к тому, что для энергетики больших мощностей приходится отказываться от ряда весьма эффективных процессов трансформирования энергии. Так, например, в газовых элементах, где происходит прямое превращение химической энергии окисления водорода в электроэнергию, этот процесс уже сейчас может осуществляться с высоким к.п.д., который достигает 70%. Но возможность применения газовых элементов для энергетики больших мощностей ограничивается весьма малой скоростью диффузионных процессов в электролитах; поэтому, согласно выражению (1), на практике плотность потока энергии очень мала, и с квадратного метра электрода можно снимать только 200 Вт. Для 100 МВт мощности рабочая площадь электродов достигает квадратного километра, и нет надежды, что капитальные затраты на построение такой электростанции оправдаются генерируемой ею энергией.

Другое, тоже, казалось бы, очень перспективное направление, но на которое по той же причине нельзя возлагать надежды,— это прямое превращение, химической энергии в механическую. Как известно, такие процессы широко осуществляются в живой природе, в мускулах животных. К стыду биофизиков, эти процессы еще по-настоящему не поняты, но хорошо известно, что их к.п.д. весьма высок. Однако эти процессы, даже

102

если со временем они будут воспроизведены не на живой природе, не смогут быть применены для энергетики больших мощностей, так как и здесь плотность потока энергии будет мала, поскольку она ограничивается скоростью диффузионных процессов, происходящих через мембраны или поверхность мускульных волокон. Скорость диффузии здесь не выше, чем в электролитах, поэтому плотность энергетического потока не может быть больше, чем в газовых элементах.

Сейчас главный интерес привлекают те методы генерирования энергии, которые не зависят от количества энергии, запасенной в прошлом в топливе различного вида. Здесь главным из них считается прямое превращение солнечной энергии в электрическую и механическую, конечно, в больших масштабах. Опять же осуществление на практике этого процесса для энергетики больших мощностей связано с ограниченной величиной плотности потока энергии. Оптимальный расчет сейчас показывает, что снимаемая с одного квадратного метра

освещенной Солнцем поверхности мощность в среднем не будет превышать 100 Вт. Поэтому, чтобы генерировать 100 МВт, нужно снимать электроэнергию с площади в один квадратный километр. Ни один из предложенных до сих пор методов преобразования солнечной энергии не может этого осуществить так, чтобы капитальные затраты могли оправдаться полученной энергией. Чтобы это было рентабельно, надо понизить затраты на несколько порядков, и пока даже не видно пути, как это можно осуществить. Поэтому следует считать, что практическое прямое использование солнечной энергии в больших масштабах нереально. Но по-прежнему это остается возможным через ее превращение в химическую энергию, как это испокон веков делается при содействии растительного мира. Конечно, не исключено, что со временем будет найден фотохимический процесс, который откроет возможность более эффективно и проще превращать солнечную энергию в химическую, чем это происходит сейчас в природе. Такой процесс химического накопления будет иметь еще то большое преимущество, что даст возможность использования солнечной энергии вне зависимости от изменения ее интенсивности в продолжение дня или от времен года.

103

Сейчас также идет обсуждение вопроса использования геотермальной энергии. Как известно, в некоторых местах мира на земной поверхности, где имеется вулканическая деятельность, это успешно осуществляется, правда, в небольших масштабах. Преимущество этого метода для энергетики больших мощностей, несомненно, очень велико, энергетические запасы здесь неистощимы, и, в отличие от солнечной энергии, которая имеет колебания не только суточные, но и в зависимости от времен года и от погоды, геотермальная энергия может генерироваться непрерывно. Еще в начале этого века гениальным изобретателем современной паровой турбины Ч. Парсонсом разрабатывался конкретный проект использования этой энергии. Конечно, он не мог предвидеть тех масштабов, которых достигнет энергетика теперь, и его проект имеет только исторический интерес.

Современный подход к этой проблеме основывается на том, что в любом месте земной коры на глубине в 10—15 км достигается температура в несколько сот градусов, достаточная для получения пара и генерирования энергии с хорошим к.п.д. При осуществлении этого проекта на практике мы опять наталкиваемся на ограничения, связанные с плотностью потока энергии. Как известно, теплопроводность горных пород очень мала. Поэтому при существующих внутри Земли градиентах температур для подвода необходимого тепла нужны очень большие площади, что весьма трудно выполнимо на глубине в 10—15 км. Вот почему возможность нагрева необходимого количества воды сомнительна.

Сейчас тут выдвигается ряд интересных предложений. Например, на этой глубине взрывать атомные бомбы и этим создавать либо большую каверну, либо большое количество глубоко проникающих трещин. Осуществление такого проекта будет стоить очень дорого; но, ввиду важности проблемы и больших преимуществ геотермального метода, я думаю, что, несмотря на эти расходы, следует, по-видимому, рискнуть осуществить этот проект.

Кроме солнечной и геотермальной энергий, не истощающих запасы, есть еще гидроэнергия, получаемая при запруживании рек и при использовании морских приливов, накопленную таким образом гравитацион-

!04

ную энергию воды можно весьма эффективно превращать в механическую. Сейчас в энергетическом балансе использование гидроэнергии составляет не более 5%, и, к сожалению, дальнейшего увеличения не приходится ждать. Это связано с тем, что запруживание рек оказывается рентабельным только в горных местах, когда на единицу площади водохранилища имеется большая потенциальная энергия. Запруживание рек с подъемом воды на небольшую высоту обычно экономически не оправдывает себя, в особенности когда это связано с затоплением плодородной земли, так как приносимый ею урожай оказывается значительно более ценным, чем получаемая энергия. Опять тот же недостаток плотности потока энергии.

Использование ветра также из-за недостаточной плотности энергетического потока оказывается экономически неоправданным. Конечно, использование солнечной энергии, малых водяных потоков, ветряков часто может быть полезным для бытовых нужд в небольших масштабах.

Из приведенного анализа следует, что нужно искать новые источники энергии для энергетики больших мощностей взамен истощающихся в природе запасов химической энергии. Очевидно, можно и следует более

бережно относиться к использованию энергетических ресурсов. Конечно, желательно, например, не тратить их на военные нужды. Однако все это только отсрочит истощение топливных ресурсов, но не предотвратит кризиса.

Как это уже становится общепризнанным, вся надежда на решение глобального энергетического кризиса — в использовании ядерной энергии. Физика дает полное основание считать, что эта надежда обоснованна.

Как известно, ядерная физика дает два направления для решения энергетической проблемы. Первое уже хорошо разработано и основывается на получении цепной реакции в уране, происходящей при распаде его ядер с выделением нейтронов. Это тот же процесс, который происходит в атомной бомбе, но замедленный до стационарного состояния. Подсчеты показали, что при правильном использовании урана его запасы достаточны, чтобы не бояться их истощения в ближайшие тысячелетия. Электростанции на уране уже сейчас функционируют и дают рентабельную электроэнергию. Но так-

105

же хорошо известно, что на пути их дальнейшего широкого развития и перевода всей энергетики страны на атомную энергию лежит необходимость преодоления трех основных трудностей.

1. Шлаки от распада урана являются сильно радиоактивными, и их надежное захоронение представляет большие технические трудности, которые еще не имеют общепризнанного решения. Самое лучшее было бы отправлять их на ракетах в космическое пространство, но пока что это считается недостаточно надежным.

2. Крупная атомная станция на миллионы киловатт представляет большую опасность для окружающей природы и в особенности для человека. В случае аварии или саботажа вырвавшаяся наружу радиоактивность может на площади многих квадратных километров погубить все живое, как атомная бомба в Хиросиме. Опасность сейчас расценивается настолько большой, что в капиталистическом мире ни одна страховая компания не берет на себя риск таких масштабов.

3. Широкое использование атомной электроэнергии приведет также к широкому распространению плутония, являющегося необходимым участником ядерной реакции. Такое распространение плутония по всем странам земного шара сделает более трудным контроль над распространением атомного оружия. Это может привести к тому, что атомная бомба станет орудием шантажа, доступным даже для предприимчивой группы гангстеров.

По-видимому, под угрозой энергетического кризиса люди найдут пути преодоления этих трудностей. Например, две последние трудности можно было бы преодолеть, располагая атомные электростанции на небольших необитаемых островах в океане, далеко от густонаселенных мест. Эти станции находились бы под тщательным контролем, и в случае аварии ее последствия не представляли бы большой опасности для людей. Энергией, вырабатываемой электростанцией, можно было бы, например, разлагать воду и полученный водород в жидком виде транспортировать и использовать как топливо, которое при сгорании не загрязняет атмосферу.

Следует признать, однако, что лучшим выходом из создавшегося положения нужно считать получение энергии путем термоядерного синтеза ядер гелия из ядер дейтерия и трития. Известно, что этот процесс осу-

106

ществляется в водородной бомбе, но для мирного использования он должен быть замедлен до стационарного состояния. Когда это будет сделано, то все указанные трудности, которые возникают при использовании урана, будут отсутствовать, потому что термоядерный процесс не дает в ощутимых количествах радиоактивных шлаков, не представляет большой опасности при аварии и не может быть использован для бомбы как взрывчатое вещество. И наконец, запас дейтерия в природе, в океанах, еще больше, чем запас урана.

Но трудности осуществления управляемой термоядерной реакции пока еще не преодолены. Я буду говорить о них в своем докладе, потому что, как теперь оказывается, эти трудности в основном также связаны с созданием в плазме энергетических потоков достаточной мощности. На этом я остановлюсь несколько подробнее.

Хорошо известно, что для полезного получения термоядерной энергии ионы в плазме должны иметь очень высокую температуру — более 10^8K . Главная трудность нагрева ионов связана с тем, что нагрев плазмы происходит в результате воздействия на нее электрического поля, и при этом практически вся энергия воспринимается электронами, которые благодаря их малой массе при соударениях плохо передают ее ионам. С ростом температуры эта передача становится еще менее эффективной. Расчеты передачи энергии в плазме от элект-

ронов к ионам при их кулоновском взаимодействии теоретически были надежно описаны еще в 30-х годах. Л. Д. Ландау [2] дал выражение для этого взаимодействия, которое до сих пор остается справедливым. Мощность P_a , передаваемая электронами с температурой T_e ионам с температурой T_i в объеме V , равна [3]

$$P_a = Vnk \frac{T_e - T_i}{\tau_{eq}}, \quad (5)$$

где k — постоянная Больцмана, n — плотность плазмы. Время релаксации τ_{eq} вычисляется по формуле Ландау, основанной на учете кулоновских взаимодействий. Согласно этой формуле при тех высоких ионных температурах $T_i = 10^8 - 10^9$ К, при которых термоядерная реакция может давать полезную мощность, поток энергии, переданный от электронов к ионам, очень мал.

Изучение выражения (5) приводит нас к тому, что когда температура ионов $T_i = 0,6T_e$, передаваемая мощность

имеет максимум значения. Максимальная величина мощности, переносимая от электронов к ионам дейтерия, будет равна [3]

$$P_{\max} = 1,57 \cdot 10^{-34} V \frac{n^2}{\sqrt{T_i}} \text{ Вт.} \quad (6)$$

В плазме при 1 атм и температуре электронов $T_e = 10^9$ К в объеме кубического метра передаваемая электронами ионам мощность будет около 400 Вт. Это небольшая величина, так как нетрудно подсчитать, что для того, чтобы нагреть кубометр плазмы до $6 \cdot 10^8$ К при подводе такой мощности, потребуется около 300 секунд.

Малость величины передаваемой ионам энергии в особенности проявляется при осуществлении наиболее широко разрабатываемых теперь термоядерных установок токамак. В них ионы удерживаются в ограниченном объеме сильным магнитным полем и процесс нагрева производится электронами, которые вначале коротким импульсом тока нагреваются до очень высоких температур, потом путем кулоновских столкновений передают свою энергию ионам. В условиях, принимаемых в современных проектах токамака, время, за которое электроны передадут свою энергию ионам, достигает 20—30 с [3]. Оказывается, за это время большая часть энергии электронов уйдет в тормозное излучение. Поэтому сейчас ищутся более эффективные способы подвода энергии к ионам [4]. Это может быть или высокочастотный нагрев, или инжекция быстрых нейтральных атомов дейтерия, или диссипация магнитоакустических волн [5]. Все эти методы нагрева ионов, конечно, значительно усложняют конструкцию реакторов типа токамак.

Из выражения для P_a видно, что эффективность энергетической передачи между электронами и ионами растет с плотностью. Поэтому предположим, что при нагреве лазерным импульсом твердого конденсированного трития или дейтерия начальная плотность будет очень велика (на несколько порядков выше, чем в токамаке) и импульсами удастся нагреть ионы в короткий промежуток времени. Но подсчеты [3] показали, что, хотя время нагрева и сокращается до 10^{-8} с, все же оно недостаточно, так как за это время ничем не удерживаемый плазменный сгусток уже разлетится на значительное расстояние,

108

Как известно [4], теперь для лазерного «термояда» ищут методы коллективного взаимодействия электронов с ионами, — например, создание ударных волн, которые адиабатическим сжатием подымут температуру ионов более быстро, чем при кулоновском взаимодействии.

Главное препятствие в данное время лежит в том, что еще недостаточно глубоко изучены физические процессы в плазме. Теория, которая здесь хорошо разработана, относится только к нетурбулентному состоянию плазмы. Наши опыты [6] над свободно парящим плазменным шнуром, полученным в высокочастотном поле, показывают, что горячая плазма, в которой электроны имеют температуру в несколько миллионов градусов, находится в магнитном поле в турбулентном состоянии. Как известно, даже в обычной гидродинамике турбулентные процессы не имеют полного количественного описания и в основном все расчеты основаны на теории подобия. В плазме, несомненно, гидродинамические процессы значительно сложнее, поэтому придется идти тем же путем.

Пока нет оснований считать, что трудности нагрева ионов в плазме не удастся преодолеть, и мне думается, что термоядерная проблема получения больших мощностей будет со временем решена.

Основная задача, стоящая перед физикой,— это более глубоко экспериментально изучить гидродинамику горячей плазмы, как это нужно для осуществления термоядерной реакции при высоких давлениях и в сильных магнитных полях. Это большая, трудная и интересная задача современной физики. Она тесно связана с решением энергетической проблемы, которая становится для нашей эпохи проблемой физики № 1.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Meadows D. H., Meadows D. L., Randers J., Behrens W. W.*, III, *The Limits to Growth*. — University Books, N. Y., 1972, p. 70.
2. *Ландау Л. Д.* Кинетическое уравнение в случае кулоновского взаимодействия. — ЖЭТФ, 1937, т. 7, с. 203.
3. *Каница П. Л.* Полезное получение энергии от термоядерных реакторов. — Письма в ЖЭТФ, 1975, т. 22, с. 24.
4. *Ribe F. L.* Fusion reactor systems. — *Rev. Mod. Phys.*, 1975, v. 47, p.
5. *Каница П. Л., Путаевский Л. П.* Нагрев плазмы магнитоакустическими колебаниями. — ЖЭТФ, 1974, т. 67, с. 1411.
6. *Каница П. Л.* Свободный плазменный шнур в высокочастотном поле при высоком давлении, — ЖЭТФ, 1969, т. 57, с. 1801,

109

ПЛАЗМА И УПРАВЛЯЕМАЯ ТЕРМОЯДЕРНАЯ РЕАКЦИЯ

Нобелевская лекция 1978

Выбор темы для Нобелевской лекции представляет для меня некоторую трудность. Обычно эта лекция связана с работами, за которые присуждена премия. В моем случае эта премия связана с моими исследованиями в области низких температур, вблизи температур ожидения гелия, т. е. несколько градусов выше абсолютного нуля. По воле судеб случилось так, что от этих работ я отошел уже более тридцати лет назад, и, хотя в руководимом мною институте продолжают заниматься низкими температурами, я сам занялся изучением явлений, происходящих в плазме при тех исключительно высоких температурах, которые необходимы для осуществления термоядерной реакции. Эти работы привели нас к интересным результатам, открывающим новые перспективы, и я думаю, что лекция на эту тему представляет больший интерес, чем уже забытые мною работы в области низких температур. К тому же, как говорят французы, *les extremes se touchent* (крайности сходятся). Хорошо известно, что в данное время управляемая термоядерная реакция представляет большой практический интерес, так как этот процесс мог бы наиболее эффективно решить проблему надвигающегося глобального энергетического кризиса, связанного с истощением запасов сырья, используемого теперь как источник энергии. Работы по управляемому термоядерному синтезу широко ведутся в ряде стран, и они связаны с научным изучением процессов, происходящих в высокотемпературной плазме. Сама возможность существования термоядерного синтеза не вызывает сомнения, поскольку он происходит при взрывах термоядерной бомбы. Процесс ядерного синтеза теоретически хорошо изучен, и расчеты надежны: они хорошо согласуются с экспериментом. Но, несмотря на большие усилия и затраченные средства, до сих пор не удается осуществить процесс ядерного синтеза так, чтобы он мог служить полезным источником энергии. Несомненно, это вызывает некоторое недоумение.

110

Уже в продолжение нескольких десятков лет плазменные процессы, при которых происходит термоядерный синтез, изучаются как теоретически, так и экспериментально, и сейчас достаточно глубоко поняты. Поэтому сейчас, казалось бы, можно было бы выявить все основные причины, мешающие осуществлению управляемой термоядерной реакции. В данном сообщении я как раз и постараюсь выяснить, что, с моей точки зрения, мешает ее осуществлению и насколько вероятно, что удастся преодолеть эти препятствия. Я также постараюсь объяснить, откуда возникают противоречия между взглядами ученых на практическую осуществимость получения полезной термоядерной энергии.

Но предварительно я хочу охарактеризовать практическую значимость получения полезной энергии от ядерных процессов.

Реальность надвигающегося глобального кризиса в энергоснабжении связана с неизбежным истощением запасов сырья: газа, нефти, угля, и это сейчас всеми признано. Также известно, что так называемый валовой

национальный продукт, который определяет благосостояние людей, пропорционален энергетическому оснащению страны. Истощение энергетических ресурсов, несомненно, вызовет общее обеднение.

Сейчас обсуждаются два выхода из надвигающегося кризиса. Первый, наиболее привлекательный,— более широкое использование неистощающихся источников энергии: гидроэнергии, энергии ветра, геотермальной энергии, солнечной энергии и др. Второй путь — использование ядерной энергии, о существовании которой человек узнал менее ста лет назад. Уже сейчас энергия, получаемая в реакторах в процессе распада ядер тяжелых элементов, оказывается более дешевой, чем получаемая от ряда неистощаемых источников энергии.

Как известно, основным горючим сырьем в ядерных реакторах является уран. Если использовать его так, как он используется сейчас, урана хватит только лет на сто. При более полном его использовании в бридерах этот срок удлинится раз в 50, т. е. запасов урана хватит на несколько тысяч лет. Кроме того, многие считают, что уран, растворенный в морской воде, тоже можно эффективно использовать для получения дешевой энергии. Таким образом, казалось бы, что процессы, уже осуществленные в современных атомных электростан-

111

циях, могут предотвратить надвигающийся энергетический кризис. Но существуют весьма веские доводы против использования урана как энергетического сырья. В основном они связаны с вопросами обеспечения безопасности.

Во-первых, использование урана связано с накоплением долгоживущих радиоактивных шлаков и с необходимостью безопасного захоронения все нарастающих количеств этих шлаков. Эти проблемы пока еще надежно не решены.

Во-вторых, в крупной энергетической атомной станции сосредоточено такое большое количество радиоактивного вещества, что, если оно, в случае аварии, прорвется на свободу, может произойти катастрофа, по масштабам сравнимая с той, что произошла при взрыве атомной бомбы над Хиросимой.

Я думаю, что с этими двумя опасностями современная техника может справиться. Но существует еще третья опасность, гораздо более серьезная. Она заключается в том, что строительство большого количества атомных электростанций приведет к тому, что суммарное количество радиоактивного вещества во всех реакторах достигнет такой величины, что невозможно станет осуществлять контроль над его правильным использованием. В конечном итоге это приведет к тому, что не только небольшим странам, но достаточно богатому человеку или промышленному предприятию откроется возможность сделать свою атомную бомбу. Секрета, как она делается, больше не существует, а необходимого для этого плутония, особенно при предстоящем широком использовании бридеров, будет вполне достаточно. Недавно в Индии уже была таким путем осуществлена и взорвана небольшая атомная бомба. В современной системе международных организаций нет такой авторитетной организации, которая могла бы достаточно надежно контролировать мирное использование урана как энергетического сырья, и неясно, как такая организация может быть создана.

Это — основная причина, которая делает крайне желательным получение энергии третьим путем, а именно путем термоядерного синтеза. Как известно, этот процесс не только не будет создавать значительного количества радиоактивных шлаков и опасного накопления радиоактивного вещества, но, главное, не открывает ни-

112

каких возможностей осуществления взрывной термоядерной реакции. Поэтому решение проблемы управляемого термоядерного синтеза для физиков надо рассматривать как «проблему № 1».

Условия, при которых происходит термоядерная реакция для получения полезной энергии, хорошо известны и надежно изучены. Таких реакций две. Их называют D + D- и D + T-реакциями. Первая из них происходит при столкновениях ядер дейтерия, вторая — при столкновении ядра дейтерия с ядром трития. В обоих случаях происходит выделение быстрых нейтронов, энергия которых может быть полезно использована. Поскольку дейтерий всегда в небольшом количестве присутствует в воде и его нетрудно извлекать, то его как горючего вполне достаточно. Свободный тритий в природе практически отсутствует, его нужно получать, как обычно это и делается, при взаимодействии нейтронов с ядром лития.

Термоядерная реакция происходит в высокотемпературной плазме. Чтобы полученная от нейтронов энергия могла быть полезно использована, она должна быть больше той энергии, которая затрачивается для поддержания температуры плазмы. Обычно это приводит к тому, что энергия, полученная от нейтронов, должна быть значительно больше тормозного излучения электронного газа плазмы. Расчеты показывают, что для по-

лучения полезной энергии $D + D$ -реакция должна происходить при температуре ионов плазмы, которая раз в 10 выше, чем для $D + T$ -реакции. Однако $D + T$ -реакция хотя и осуществляется при более низкой температуре, но имеет весьма крупный недостаток: при этом происходит сгорание лития, количество которого в природе ограничено. К тому же оказывается, что участие в реакции лития значительно осложняет конструкцию реактора. Расчеты показывают, что для получения полезной энергии температура ионов в плазме для $D + D$ -реакции должна лежать в области выше 10^9 К и соответственно для $D + T$ -реакции — в области выше 10^8 К.

Таким образом, для получения энергии в масштабах, нужных для практики, техническая задача осуществления управляемой термоядерной реакции сводится к получению плазмы при температуре ионов, близкой к 10^8 К, и плотности плазмы в пределах $10^{13} — 10^{14}$ см⁻³. Очевидно, что удержание плазмы при таких

113

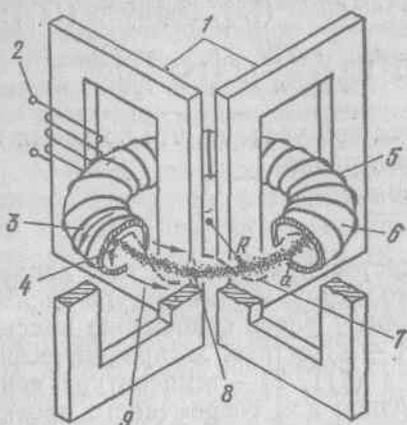
условиях обычным способом в каких-либо сосудах нельзя осуществить, так как нет материала, который может выдержать необходимые высокие температуры.

Предложено несколько способов решить проблему удержания плазмы и ее теплоизоляции.

Наиболее остроумным и многообещающим способом был так называемый токамак, предложенный в СССР, который разрабатывается уже более десятилетия ([1], с. 15). Принцип, на основе которого он работает, виден на схеме его конструкции, изображенной на рисунке. Плазму удерживает магнитное поле, которое создается тороидальным соленоидом. Плазма имеет форму тора с радиусом R и сечением радиуса a и заключена внутри соленоида, в котором создается магнитное поле. Плазма находится под давлением в несколько атмосфер. При расширении в магнитном поле в ней возникают токи, которые задерживают это расширение. В итоге получается, что плазма окружена вакуумной изоляцией. Это необходимо для поддержания ее при высоких температурах, при которых происходит термоядерная реакция. Очевидно, что такой способ удержания плазмы будет ограничен временем. Расчеты показывают, что благодаря малой теплоемкости плазмы энергия, идущая на ее первоначальный нагрев, даже если плазма существует доли секунды, будет мала по сравнению с получаемой термоядерной энергией. Поэтому такой реактор может эффективно работать в импульсном режиме. Запускается токамак, как это видно на рисунке, как бетатрон: разрядом конденсаторов через обмотку окружающего ярма трансформатора. Осуществление на практике удержания плазмы таким способом оказалось все же не простой задачей. Во-первых, существуют трудности стабилизации в магнитном поле формы плазменного кольца, когда растет радиус a сечения кольца, но главное, растет радиус R самого тороида, и при этом кольцо становится неустойчивым и теряет свою правильную форму. Эти трудности удалось преодолеть путем выбора отношения R к a и распределения магнитных полей, хотя при этом время существования плазменного шнура обычно ограничивается долями секунды. Считается, что с увеличением масштабов токамака это время будет расти как квадрат размера установки.

Но основная трудность появляется от причины, которую вначале недостаточно оценили. Она заключается

114



Основные элементы конструкции токамака.

1 — ярмо трансформатора, 2 — первичная обмотка трансформатора, 3 — ток, создающий продольное магнитное поле, 4 — магнитное поле плазменного витка, 5 — катушка продольного магнитного поля, 6 — металлическая проводящая стенка, 7 — результирующее поле, 8 — ток в плазме, 9 — продольное поле.

в следующем: для получения термоядерной реакции нужен нагрев самих ионов дейтерия или трития, и главная трудность в передаче им тепла связана с тем, что нагрев плазмы производится воздействием на нее электрического поля; при этом практически всю энергию воспринимают электроны, которые благодаря их малой массе при соударении с ионами плохо передают им энергию. Кроме того, чем выше температура электронов, тем менее эффективен процесс теплопередачи. В токамаке нагрев плазмы происходит электронным током. Таким образом, вся энергия, идущая на нагрев плазмы, сосредотачивается в электронах и потом уже передается ионам путем соударения. Оказывается, что для того, чтобы нагреть таким путем ионы до необходимой температуры, требуется время Δt , значительно большее, чем время, в продолжение которого может происходить нагрев плазмы электрическим током. Расчеты, которые обычно делаются, очень сложны, так как их стремятся делать точно, и потому они оказываются мало наглядными. Но можно просто подсчитать нижний предел промежутка времени, при котором нагрев ионов

115

еще может быть осуществлен. Он делается следующим простым выражением ([2], формула (14)):

$$\Delta t > -2,5 \cdot 10^2 \frac{f}{\Lambda} \frac{T_e^{3/2}}{n} \ln \left(1 - \frac{T_i}{T_e} \right).$$

Расчет ведется при условии, что во время нагрева плотность плазмы n равна

$$n = \frac{7,3 \cdot 10^{21} p}{T_e}$$

и остается постоянной, так же как давление p , выраженное в атмосферах, и температура электронов T_e . Коэффициент f равен отношению массы иона к массе протона, Λ — известный логарифмический множитель ([2], формула (4)), T_i — температура ионов. Согласно этому выражению для современного проекта токамака, работающего на D+T-реакции с плазмой при температуре ионов $T_i=5 \cdot 10^8$ и при плотности $n=3 \cdot 10^{13}$ см⁻³ (при этом начальный нагрев электронов $T_e=10^9$ К), промежуток времени Δt , необходимый, чтобы начался ядерный процесс в плазме, должен быть больше, чем 22 с, т. е. по крайней мере на два порядка длиннее, чем имеет место в современной установке токамак. Увеличить время удержания плазмы можно только увеличением самой установки, и, по-видимому, это время растет пропорционально квадрату размеров установки. Из приведенной формулы получаем, что для D + D-реакции время нагрева увеличивается еще на два порядка, и тогда $\Delta t > 2 \cdot 10^3$ с.

Трудности со временем нагрева ионов плазмы теперь полностью осознаны, но не видно, как можно сократить это время и как может работать токамак, если до нагрева ионов плазмы вся бетатронная энергия от разряда конденсаторов будет излучаться электронами. Поэтому теперешний проект токамака предусматривает дополнительный подвод энергии, которая превосходит энергию от бетатронного процесса, служащую только для начального зажигания.

Подвод дополнительной энергии к ионам плазмы должен осуществляться более эффективным образом, чем процессом кулоновых столкновений электронов и ионов. Для этого существуют два возможных процесса. Первый ([1], с. 20), уже осуществленный, заключается в том, что в плазменное кольцо вводят атомы дейтерия

116

или трития, предварительно ускоренные до температуры, необходимой для поддержания термоядерного процесса. Второй процесс нагрева ионов основан на том, что в плазменном кольце циркулярным током можно возбуждать радиальные магнитоакустические колебания, или, как обычно их называют, альвеновские волны. Известно ([3], с. 1417), что диссипируемая ими энергия идет в значительной мере на нагрев ионов и подводимая мощность может быть достаточно велика, чтобы быстро нагреть ионы и поддерживать их температуру достаточное время. Таким образом проблема нагрева ионов может быть решена, хотя механизм работы токамаков будет отличаться от первоначально задуманного. При этом конструкция токамаков становится значительно сложнее и эффективность уменьшается.

Поскольку практически во всех ядерных реакторах генерируемая • мощность пропорциональна объему активной зоны и потери увеличиваются только с увеличением ее поверхности, то эффективность ядерных реакторов растет с ростом их размеров. Поэтому у реактора существует критический размер, начиная с которого он может генерировать полезную энергию. Величина этого критического размера и определяет осуществимость реактора на практике. Этот критический размер определяют в основном не ученые, а инженеры-конструкторы,

так как он тесно связан с конструктивным оформлением всей установки в целом и с выбором технологических процессов при ее производстве. Успех этой работы в значительной степени определяется талантом и изобретательностью инженеров-конструкторов. Поэтому определить критический размер токамака можно, только основываясь на тех конструкторских решениях, которые сейчас предлагаются. Я думаю, что существующие решения приводят к критическим размерам токамаков, которые делают их сейчас нереальными. Но, конечно, жизнь показывает, что изобретательские способности людей не имеют предела, и поэтому нельзя утверждать, что критические размеры токамака не могут со временем стать осуществимыми.

Следует отметить, что, хотя главной принципиальной трудностью управляемого термоядерного процесса в токамаках является проблема нагрева ионов дейтерия и трития, кроме того, существуют еще трудности другого характера, которые пока не имеют четкого решения.

117

Например, оказалось, что в токамаке в плазму втягиваются, выделяясь из стенок контейнера, загрязнения, которые резко уменьшают интенсивность реакции. Кроме того, из плазмы вылетают нейтральные атомы и, ударяясь о стенки контейнеров, их разрушают. Оказалось, что отбор полезной энергии от нейтронов значительно усложняет конструкцию токамака. Хотя все эти факторы и можно преодолеть, но они усложняют конструкцию токамака и увеличивают его критические размеры. Удастся ли со временем довести критические размеры токамака до осуществимой величины? Если это и удастся, то точно определить — когда, конечно, нельзя. Поэтому сейчас можно только констатировать, что нет принципиальной теоретической причины, почему управляемый термоядерный синтез неосуществим, но с выходом полезной энергии в практических масштабах это пока неосуществимо.

Из других методов осуществления управляемого термоядерного синтеза серьезному рассмотрению подлежит тоже импульсный метод, но без использования магнитного удержания плазмы ([1], с. 33). Идея метода заключается в том, что происходит импульсный нагрев $D + T$ -сгустка примерно миллиметрового диаметра в очень короткий промежуток времени, за который сгусток не успевает разлететься. При этом возникает очень высокое давление, которое обеспечивает интенсивный теплообмен между ионами и электронами. Считается, что таким путем термоядерная $D + T$ -реакция в сгустке может быть практически полностью завершена. Для этого необходимо хорошо сфокусированное мощное лазерное излучение, которое должно нагревать сгусток одновременно и со всех сторон за время порядка наносекунды. Это сложный процесс, но он может быть просчитан современным компьютером, и, если действительно плазменный сгусток осветить со всех сторон хорошо сфокусированным лазерным излучением, это может дать избыток полезной термоядерной энергии. Но при реальной разработке такого устройства не видно, как можно решить возникающие технические и конструкторские трудности, например, как осуществить всестороннее и одновременное облучение, а также как полезно использовать полученную энергию нейтронов.

Тут также можно только констатировать правильность теоретического обоснования, но реального кон-

118

структорского решения его осуществления пока, с имеющимися техническими возможностями, не видно. Но, конечно, полностью отрицать возможность решения таким путем этой проблемы нельзя, хотя осуществление рассмотренной лазерной установки мне рисуется менее вероятным, чем импульсных установок с магнитным удержанием плазмы.

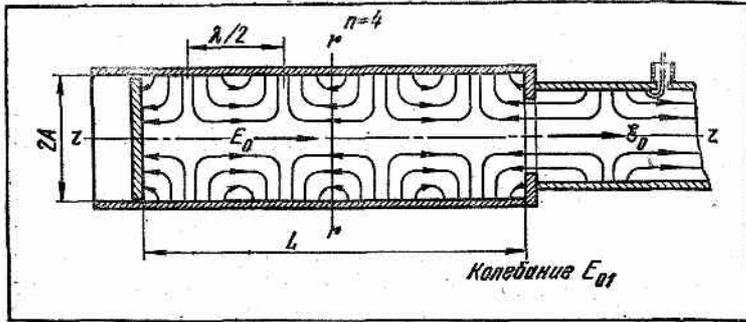
Наконец, третий тип термоядерного реактора основан на непрерывном нагреве плазмы и пока разрабатывается только в нашем институте. Эти работы были описаны в 1969 г. [4], и с тех пор этот тип реакции более подробно изучался, и выявились те основные трудности, которые лежат на пути решения этим путем термоядерной проблемы. Я расскажу в общих чертах, какие имеются тут проблемы, требующие научного решения.

В отличие от токамака и лазерного метода получения горячей плазмы для осуществления термоядерного процесса, наш метод не был специально изобретен; мы случайно нашли явление, при котором получалась горячая плазма. Нами разрабатывался мощный высокочастотный генератор непрерывного действия. В результате был осуществлен прибор, генерирующий высокую частоту при длине волны 20 см с высоким к.п.д. и мощностью в несколько сот киловатт. Принцип, на котором он работает, теперь описан [5], и также полностью описана [6] его конструкция и дана его рабочая характеристика. Этот генератор был нами назван «Ниготрон». В процессе разработки этого генератора, начиная с 1950 г., при испытании одной из его моделей мы пропускали

его излучение через кварцевый шар, наполненный гелием при давлении 100 мм рт. ст. При этом в нем вспыхнуло свечение, которое имело четкие границы. Все явление наблюдалось несколько секунд, так как в одном месте шар проплавился.

Эти наблюдения привели к мысли, что шаровая молния— тоже явление, создаваемое высокочастотными колебаниями, возникающими в грозовых облаках после обычной молнии. Таким образом подводилась энергия, необходимая для поддержания продолжительного свечения шаровой молнии. Эта гипотеза была опубликована [7] в 1955 г. Через несколько лет у нас появилась возможность возобновить эти опыты. В марте 1958 г. уже в шаровом резонаторе, наполненном гелием при

119

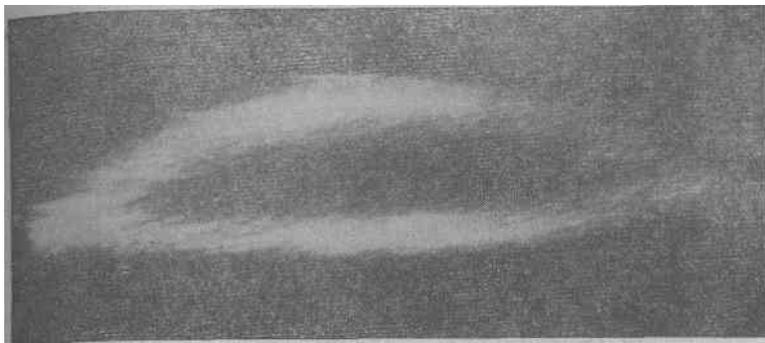


атмосферном давлении, в резонансном режиме при интенсивных непрерывных колебаниях типа H_{01} возникал свободно парящий газовый разряд овальной формы. Этот разряд образовывался в области максимума электрического поля и медленно двигался по кругу, совпадающему с силовой линией.

Мы стали изучать более подробно такой тип разрядов, исходя из того, что плазма в этих разрядах непосредственно не соприкасалась со стенками резонатора, и мы предположили, что при этом плазма могла бы иметь высокую температуру. В продолжение нескольких лет мы изучали это интересное явление в различных газах при давлениях, достигавших десятков атмосфер, и при различных мощностях, достигавших десятков киловатт, и, конечно, также изучалось влияние на разряд магнитного поля, достигавшего в наших опытах 25 кЭ. Эти исследования подробно описаны [4]. Схема установки, которая нами применялась, изображена на рисунке. Плазменный разряд имеет форму шнура около 10 см длиной, равной полудлине волны ВЧ колебаний. Интенсивные ВЧ колебания вида E_{01} генерировались в цилиндрическом резонаторе. Шнуровой разряд находился в одном из максимумов электрического поля E_{01} . Его устойчивость по продольной оси создавалась электрическим полем ВЧ колебаний. В радиальном направлении устойчивость плазменного шнура обеспечивалась вращением газа.

Наибольший интерес представляет изучение плазменного разряда в водороде или в дейтерии. При малых мощностях разряд не имел четко очерченных границ и

120



его свечение было диффузного характера. При увеличении подводимой ВЧ мощности свечение становилось ярче, увеличивался диаметр разряда и внутри появлялось четко очерченное ядро шнуровой формы, сечение которого росло с подводимой мощностью. В первоначальных опытах мощность, подаваемая в разряд, доходила до 15 кВт, а давление мы доводили до 25 атм. При этом, чем выше было давление, тем устойчивее был разряд и тем лучше очерчивались формы ядра.

Здесь приведена фотография шнурового разряда в дейтерии с примесью 5 % аргона при мощности в разряде $P=14,7$ кВт и давлении $p=3,32$ атм (1969 г.).

Изучая проводимость плазмы, а также с помощью активной и пассивной спектральной диагностики можно было надежно установить, что центральная часть разряда имеет очень высокую температуру электронов — выше миллиона градусов. Таким образом, на границе плазменного шнура, на расстоянии нескольких миллиметров, имелся скачок температуры более миллиона градусов. Это значило, что плазма на поверхности имела слой с высокой теплоизоляцией.

Возможность существования такого большого скачка температуры вначале вызывала сомнения, поэтому были испробованы всевозможные методы диагностики плазмы, но все они неизменно приводили к той же высокой температуре — выше миллиона градусов. Но в дальнейшем выяснилось, что физическая природа существования такого скачка температуры вполне объяснима. Нетрудно показать, что если бы при наблюдаемых высоких температурах ударявшиеся о границу шнура электроны свободно диффундировали в окружающий

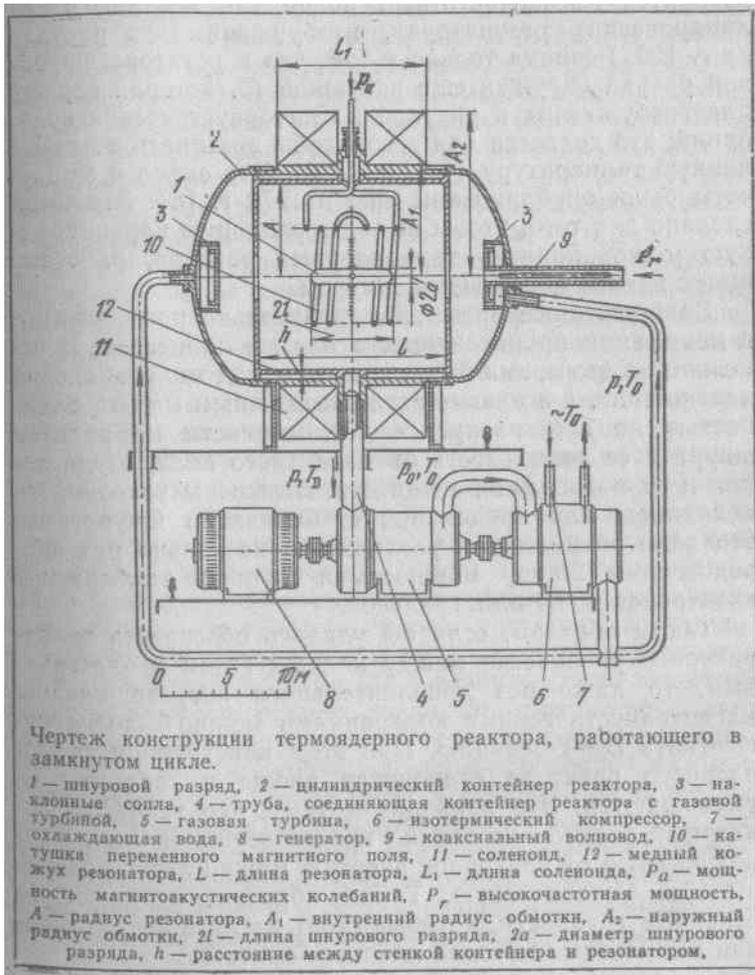
121

газ, то они уносили бы с собой мощность в сотни киловатт. Отсутствие такого мощного теплового потока может быть объяснено тем, что на границе горячей плазмы существует двойной электрический слой, от которого без существенных потерь электроны отражаются. Существование аналогичного явления давно известно. Оно имеет место в случаях, когда горячая плазма ограничена стенками из диэлектрика, например, стеклом или фарфором.

Известно, что при таких условиях, даже если плазма находится под значительным давлением, электроны могут иметь температуру в десятки тысяч градусов и при этом не нагревать значительно стенки сосуда. Это явление уже давно объяснено существованием на поверхности диэлектрика двойного электрического слоя. Механизм возникновения двойного слоя прост. Он заключается в том, что при ударе о поверхность электроны, благодаря их большой подвижности, глубже проникают в диэлектрик, чем менее подвижные ионы. Объемный заряд электрона в диэлектрике находится на большей глубине, чем объемный заряд иона, и создает электрическое поле двойного слоя, направленное так, что от него упруго отражается горячий электрон. Такая плохая электронная теплопроводность на границе плазмы теперь широко используется в газосветящихся источниках. Описанный метод плазменной теплоизоляции был впервые предложен Ленгмюром. Мы считаем, что при достаточно высоком давлении аналогичный механизм теплоизоляции может иметь место в нашей горячей плазме. Существование двойного слоя в плазме на границе шнурового разряда нам теперь удастся наблюдать экспериментально как резкий скачок плотности плазмы. Описанный механизм температурного скачка, очевидно, может иметь место, только если температура ионов значительно ниже температуры электронов и мало отличается от той, при которой в плазме возникает заметная ионизация, но это условие для существования двойного слоя необходимо только на границах шнура. В центральной части шнура температура ионов может быть сколь угодно высока. Как мы увидим из дальнейшего, разница между температурой ионов внутри шнура и на поверхности определяется величиной теплового потока и теплопроводности ионного газа. Обычно теплопроводность плазмы велика, но в сильном магнитном поле по-

122

перечная теплопроводность может стать весьма малой. Поэтому можно ожидать, что в сильных магнитных полях температура ионов внутри шнура будет мало отличаться от температуры электронов и может быть сделана достаточно высокой, чтобы осуществить в плазме из дейтерия или трития термоядерную реакцию. На этом основании можно пытаться осуществить проект термоядерного реактора для получения полезной энергии, что и было сделано [8]. Схема реактора дана на рисунке.



123

Шнуровой разряд 7 находится в контейнере — резонаторе 2. Давление дейтерия в контейнере 30 атм, магнитное поле, созданное обычным соленоидом, 10 кЭ. На чертеже показана схема, по которой полезно используется энергия нейтронов. Нагретый нейтронами газ поступает в газовую турбину 5, где адиабатически расширяется, и потом в турбокомпрессоре 6 изотермически опять сжимается. Полученная избыточная мощность поступает в генератор 8. Нагрев шнурового разряда производится высокочастотным полем так же, как в цилиндрических резонаторах, изображенных на рисунке на с. 120. Разница только в том, что в реакторе шнуровой разряд окружен еще катушкой 10, которая служит для возбуждения в разряде магнитоакустических колебаний; это делается для того, чтобы повышать в плазме ионную температуру ([4], с. 1856). Эта схема и ее расчеты были опубликованы еще в 1970 г. [8]. Это было сделано для того, чтобы выявить реальную картину, какую может принять термоядерный реактор, работающий с нашим плазменным шнуром.

За прошедшее время мы значительно продвинулись в понимании происходящих в плазме процессов. В основном за это время был улучшен метод микроволновой диагностики, и в плазме стало возможным мерить с точностью до 5% распределение плотности по радиусу шнура и ее зависимость от магнитного поля, от давления и от подводимой мощности. Выяснены условия, необходимые для продольной стабилизации шнура. Все это дало возможность увеличить в несколько раз подводимую к шнуру мощность и поднять температуру электронов до 50 млн. градусов.

Таким образом, если бы удалось обеспечить температурное равновесие между ионным газом и электронным, то даже без дополнительного нагрева плазмы магнитоакустическими колебаниями можно было бы осуществить D + T-реакцию. При этом конструкция термоядерного реактора становится проще и габариты ее уменьшаются. Это приводит к тому, что такой термоядерный реактор не только просто осуществляем, но и получаемую от нейтронов энергию можно легко превращать в механическую. Таким образом, отпадают те основные трудности, которые стоят на пути осуществления импульсных методов ядерного синтеза.

124

Но все же на нашем пути лежит еще нерешенная трудность, к которой следует отнестись очень серьезно, потому что она может сделать проблему вообще неразрешимой. Эта трудность заключается в следующем. Сейчас мы умеем в нашем устройстве в высокочастотном поле создавать плазменный шнур при давлении в несколько десятков атмосфер и поддерживать в нем непрерывную температуру электронов не меньше 50 млн. градусов и, по-видимому, с увеличением масштабов, значительно более высокую. Размер сечения нашего шнура ограничен только той мощностью, которую к нему подводили. Таким образом, мы располагаем электронным газом при рекордно высокой температуре, более высокой, чем температура электронного газа на Солнце. Вся задача теперь заключается в том, чтобы суметь нагреть до этой температуры ионы. Хотя ионный газ и находится в смеси с электронным, но, оказывается, выровнять их температуру не просто. Процесс выравнивания температур происходит в две стадии.

Первая — это передача тепла от электронов к ионам. Она просто заключается в энергетическом обмене, происходящем при столкновениях ионов с электронами. При этом очевидно, что количество передаваемого тепла пропорционально объему плазменного шнура. Вторая стадия заключается в отводе этого тепла от ионов, передаче тепла от ионного газа в окружающую шнур среду. Этот отвод пропорционален поверхности плазменного шнура. Таким образом, при заданной теплопроводности ионного газа температура ионов будет расти с увеличением радиуса шнура. Это приводит к тому, что при определенной теплопроводности ионного газа будет существовать критическое сечение плазменного шнура, при котором температура ионов достигнет значений, близких к температуре электронов, и станет происходить либо $D + D$ -реакция, либо $D + T$ -реакция. Если известна теплопроводность плазмы, то расчет критического размера шнура не представляет трудности. Если, например, провести этот расчет для обычной ионной плазмы в отсутствие магнитного поля, в которой теплопроводность определяется длиной свободного пробега иона, то окажется, что шнур будет иметь неосуществимо большое сечение, с диаметром во много километров. Уменьшить это сечение можно, уменьшая теплопроводность ионного газа, что может быть достигнуто помещением

125

шнура в магнитное поле так, как это сделано в реакторе на рисунке на с. 123. Теплопроводность ионного газа в магнитном поле становится значительно меньше, так как она теперь определяется не длиной свободного пробега иона, но диаметром его ларморовской орбиты, которая обратно пропорциональна величине магнитного поля. Вычисление теплопроводности ионного газа в магнитном поле не представляет труда, и она достоверно известна.

Оказывается, что критическое сечение диаметра шнура обратно пропорционально величине магнитного поля, и при поле в несколько десятков килоэрсед критический диаметр шнура равен всего 5—10 см.

Такая величина вполне осуществима. Но для этого нужна установка значительно больше той, на которой мы сейчас изучаем в плазме природу электронного газа. В наших лабораторных условиях такая установка вполне осуществима и теперь находится в процессе изготовления.

Казалось бы, что описанный нами реактор непрерывного действия дает возможность осуществить простым способом не только реакцию $D + T$, но и $D + D$, но все же есть один фактор, который может этот процесс сделать неосуществимым.

Теплопроводность ионного газа мы вычисляем, исходя из того, что она полностью определяется длиной свободного пробега иона, равной диаметру ларморовской орбиты, но при этом мы не учитываем влияния на теплопроводность конвекционных потоков тепла. Хорошо известно, что даже в обычном газе конвекционные потоки переносят тепла значительно больше, чем переносятся при молекулярных столкновениях. Известно, что вычисление влияния конвекционных потоков на теплопроводность даже в случае беспорядочного турбулентного состояния обычного газа представляет практически неразрешимую задачу. Поэтому тут обычно поступают так: находят методом размерностей теплоотдачу для близкой по характеру конвекции и обобщают ее для конкретного случая, при этом уже эмпирически определяя необходимый коэффициент. В случае плазмы процесс зависит от значительно большего числа параметров, и такой способ определения конвекционной теплопроводности становится еще более сложным, чем для обычного газа. Все же теоретически можно выявить,

ка-

126

кие факторы больше всего влияют на интенсивность конвекции. Очевидно, что для того, чтобы поддержать конвекцию, необходимо затрачивать энергию. В газе эта энергия обычно берется из кинетической энергии при его течении за счет увеличения бернуллиевого перепада давления.

В покоящемся плазменном шнуре такой механизм создания конвекции отсутствует. Но в ионизированной плазме может существовать другой источник энергии, который может создавать конвекцию. Он связан с возможностью возникновения градиентов температуры. Это может вызвать появление в газовой среде внутренних напряжений, что приводит к возникновению конвекции.

Это явление впервые было изучено Максвеллом [9]. Он показал, что в газе при тепловом потоке могут возникать внутренние напряжения, которые пропорциональны квадрату вязкости и производным градиента температуры. В обычных условиях в газе они столь малы, что до сих пор их экспериментально не удается обнаружить. Дело в том, что вязкость пропорциональна длине свободного пробега, которая в обычных газах при нормальном давлении очень мала, близка к 10^{-5} см, и поэтому внутреннее напряжение при небольших градиентах температуры тоже мало.

В плазме длина свободного пробега как электронов, так и ионов достигает сантиметров, и градиент температуры велик. Поэтому внутреннее напряжение, согласно формуле Максвелла, порядков на 10 больше, чем в газе, и может создавать в плазме конвекционные потоки и турбулентность. Присутствие магнитного поля, конечно, может влиять на характер этого явления, а участие в конвекции еще и электрического поля делает теоретический подход даже для самой грубой оценки мощности конвекции совсем ненадежным. Поэтому здесь есть только один путь — экспериментальное изучение этих процессов, что мы сейчас и делаем.

Несомненно, конвекционная теплопроводность будет уменьшать эффективность нагрева ионов и приведет к тому, что для получения термоядерного синтеза критическое сечение шнура будет увеличиваться и, соответственно, будут расти размеры реактора для полезного получения энергии. Если они станут недоступно большими, то, конечно, возникнет вопрос о способах борьбы с влиянием конвекционной теплопроводности.

Послед-

127

нюю можно ограничить, создав на границе плазменного шнура слой с отсутствием турбулентности, как это имеет место в газе, где возникает так называемый прандтлевский слой. Такая возможность может быть теоретически обоснована ([4], с. 1853).

Таким образом, мы приходим к тому, что импульсный метод, применяемый в токамаке, сейчас поддается полному теоретическому расчету, но постройка термоядерного реактора, основанного на этом методе, приводит к очень большой и сложной конструкции. В противоположность этому наш термоядерный реактор имеет простую конструкцию. Но ее практическое осуществление и размеры зависят от конвекционных теплообменных процессов, которые не поддаются теоретической количественной оценке.

Основная привлекательность научной работы как раз в том, что она приводит к проблемам, решение которых нельзя предвидеть, поэтому решение проблемы управляемой термоядерной реакции для ученого особенно привлекательно.

ЛИТЕРАТУРА

- 1, *Ribe F. L.* Fusion reactor systems. — Rev. Mod. Phys., 1975, v.47, p. 7.
- 2, *Капица П. Л.* Полезное получение энергии от термоядерных реакторов. — Письма в ЖЭТФ, 1975, т. 22, с. 20.
- 3, *Капица П. Л., Пятаевский Л. П.* Нагрев плазмы магнитоакустическими колебаниями. — ЖЭТФ, 1974, т. 67, с. 1410.
- 4, *Капица П. Л.* Свободный плазменный шнур в высокочастотном поле при высоком давлении. — ЖЭТФ, 1969, т. 57, с. 1801.
- б, *Капица П. Л.* Электроника больших мощностей, — М.: Изд-во АН СССР, 1962.
- 6, *Капица П. Л., Филимонов С. И., Капица С. П.* Двухрядный ниготрон большой непрерывной мощности. — В сб.: Электроника больших мощностей, № 6, с. 7—36. — М.: Наука, 1969.
7. *Капица П. Л.* О природе шаровой молнии. — ДАН СССР, 1955, т. 101, с. 254.
- 8, *Капица П. Л.* Термоядерный реактор со свободно парящим в высокочастотном поле плазменным шнуром. — ЖЭТФ, 1970, т. 58, с. 377.

9, *Maxwell J. C. On stresses in rarified gases arising from inequalities of temperature*, — *Phil, Trans, Roy. Soc.*, 1879, v, 170, p. 231,
128

**) Буквально Дэви сказал: «One good experiment is worth more than the ingenuity of a brain like Newton's» (1799),*

**) Квантовая теория сверхпроводимости была построена лишь в 1957 г. Дж. Бардином, Л. Купером и Дж. Шриффером.*

**) Подробно экспериментальные работы изложены в следующих статьях: ДАН СССР, 1938, т. 18, с. 21; ЖЭТФ, 1941, т. 11, № 1, с. 1; ЖЭТФ, 1941, т. II, №6, с. 581,*

**) Эта лекция была прочитана до того, как авиация перешла на турбовинтовые и турбореактивные двигатели. С поршневым двигателем увеличение размеров аэропланов в то время уже становилось невозможным.*

**) Выдвинутое на основе описанных экспериментов представление о течении гелия в одном физическом состоянии внутри жидкости навстречу тонкой пленке жидкости, находящейся в другом физическом состоянии, послужило основанием для построения Л. Д. Ландау квантовой теории сверхтекучести. Согласно этой теории жидкий гелий представляет собой как бы смесь двух жидкостей (двух компонентов), находящихся в различных квантовых состояниях. Квантовая теория позволила объяснить, что наблюдаемые на опыте противотоки есть встречное движение во всем объеме жидкости этих двух компонентов.*

****) Наши дальнейшие исследования теплопередачи от нагретого тела в свободный гелий-II показали, что все теплосопrotивление в этом случае сосредоточено в чрезвычайно тонком пристенном слое. В этом слое возникает скачок температуры, величина которого растет с понижением температуры обратно пропорционально третьей степени температуры. Это явление сильно затрудняет проведение физических исследований при температурах много ниже 1 К.*

**) Написано в 1952 г,*

СТРОИТЕЛЬСТВО И НАЧАЛО РАБОТЫ ИНСТИТУТА ФИЗИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ

Из доклада на заседании Группы физики Академии наук СССР.

1937

Институт был основан постановлением правительства от 28 декабря 1934 г. и назван Институтом физических проблем. Это несколько необычное название должно отразить собою то, что институт не будет заниматься какой-либо определенной областью знания, а будет, вообще говоря, институтом, изучающим различные научные проблемы, круг которых определится тем персоналом, теми кадрами ученых, которые в нем будут работать. Таким образом, этот институт предназначается для чистой, а не прикладной научной работы. Я пользуюсь не особенно популярным термином «чистая наука», так как не знаю, чем заменить это слово. Иногда говорят — теоретическая наука, но теоретической является всякая наука. По существу pure science или reine Wissenschaft — это вполне установившееся понятие. Между прикладной и чистой наукой имеется только одно различие: в прикладной науке научные проблемы идут из жизни, в то время как чистые науки сами ведут к прикладным результатам, потому что никакое научное знание не может остаться не приложенным к жизни, — оно так или иначе найдет свое применение и даст практические результаты, хотя и трудно предвидеть, когда и как это произойдет.

При создании института не имелось в виду отыскание и решение разнообразных проблем физики. Мне было предложено взять руководство институтом и продолжать в нем те работы, которые в течение 13 лет я вел в Англии. Там я работал над проблемой сильных магнитных полей и, в связи с этим, над получением

129



низких температур. Это и были те основные проблемы, которыми вначале должен был заниматься Институт физических проблем.

Я коснусь теперь чисто строительных вопросов и изложу те идеи, которые были положены в основу строительства института.

Первым вопросом был выбор места. Это чрезвычайно важный вопрос. Большинство физических измерений производится, как известно, очень чувствительными приборами, поэтому надо было удалить институт от источников различных мешающих влияний. Этих мешающих влияний в городах достаточно много: сотрясение от уличного движения, индукционные токи от трамвайных линий и от расположенных поблизости радиостанций и т. п. Выбору участка было посвящено поэтому много времени, и я не знаю, можно ли было бы получить лучший участок, чем тот, на котором институт находится. По-моему, местоположение института надо признать идеальным: здание института расположено в 80 м от

130

трамвайной линии, и уличные сотрясения доведены до минимума.

фронтальная линия участка института (в виде треугольника) занята жилыми строениями, а научная часть помещена в глубине участка.

При проектировании института был принят следующий план. Рабочая, лабораторная часть здания, в которой будут производиться опыты, вся расположена в первом этаже. Это необходимо при работе с жидким гелием и водородом, которые нужно переносить в лаборатории,— для безопасности и удобства гораздо лучше сосредоточить все это на одном этаже. Кроме того, на первом этаже гораздо спокойнее в отношении всяких сотрясений.

На первом этаже находится зал, где расположена ожижительная аппаратура, над залом сделан балкон. Второй этаж над этим помещением отсутствует, а крыша сделана из легкого материала. Это необходимо для того, чтобы эффект взрыва, который может произойти вследствие какой-либо случайности, был минимальным.

Второй этаж здания предназначается только для административных и хозяйственных целей: тут находится бухгалтерия, красный угол, залы и кабинеты дирекции.

В нашем институте нет системы пропусков: на нижний этаж никто не может попасть непосредственно, так как всякий посетитель сразу же проходит на второй этаж и направляется в канцелярию, из которой можно попасть в нижний этаж только через кабинет директора. В то же время сотрудники имеют вход в кабинет директора из своих комнат по внутренней лестнице; таким образом устанавливается непосредственная связь между руководителем института и научными работниками.

Часть подвала здания института занята котельной, а другая — отведена для работ, при которых применяется аппаратура большой чувствительности. Там сделан специальный фундамент на резине. Одна комната отделана бариевой штукатуркой для рентгеновской аппаратуры, другая комната предназначена для спектроскопии.

Институт проектировался как самостоятельная единица, т. е. должен был иметь свои мастерские, библиотеку и т. п., чтобы он мог жить совершенно самостоятельной жизнью, Но это, конечно, неправильно, это

131

только временно, так как наш институт должен быть частью всех головных институтов Академии наук, и когда последние будут построены вблизи друг от друга, то его хозяйство, его административную часть можно будет значительно уменьшить. Конечно, тогда не будет иметь смысла сохранять и свою полную библиотеку, так как можно будет пользоваться библиотекой Академии наук. То же относится и к мастерским — они сейчас, может быть, чересчур велики, но нам пока что надо иметь свое собственное хозяйство.

Что касается самого строительства института, то оно велось в течение двух лет, хотя должно было быть закончено в один год. Наши строители оказались не на высоте положения. Несмотря на то, что снабжение материалами шло без всяких перебоев и в них никогда не было никакого недостатка, строительство было недостаточно хорошо организовано и не могло быть закончено в намеченный срок. И качество строительства правительственная комиссия смогла признать только удовлетворительным. Это очень жаль, потому что проект здания, по-моему, очень привлекательный, и его следовало бы осуществить тщательнее...

Я хочу теперь указать на ряд мелких деталей в устройстве нашего лабораторного хозяйства.

Это, во-первых, вся система электрического снабжения, аккумуляторные батареи со швейцарским щитом, который стоит в большом зале и дает возможность подавать любой вольтаж в любую комнату. Проводка из комнат присоединена непосредственно к щиту; когда одни и те же батареи используются несколькими сотрудниками, происходит лишь очень малое падение напряжения, так что сотрудники не мешают друг другу.

Затем машинный зал с мотор-генераторами. Ток от любого мотор-генератора может быть подан в любую комнату, причем ток до нескольких сотен ампер регулируется простым ползунковым реостатом, устанавливающим силу тока в обмотках возбуждения динамо. В целях защиты линии вся проводка заключена в стальные и железные трубы, и вся эта система хорошо заземлена. Хорошая система заземления имеется вокруг всего института, так что при желании можно каждой комнате дать отдельную «землю».

Каждые две соседние лаборатории имеют общую фотографическую комнату, Всюду предусмотрено затем-

132

нение. Электрические лампочки можно включать не только параллельно, но и последовательно и таким образом создавать в комнатах полумрак. В каждой комнате имеется хромированный кран с очень тонкой регулировкой подачи воды. Кроме того, в каждую комнату подаются сжатый воздух и газ.

При институте создана хорошая мастерская, в которой может быть изготовлен почти любой сложный физический прибор. Мастерская снабжена точными станками, и мы можем с гордостью сказать, что большинство станков нашего советского производства.

В специальном помещении находится стеклодувная. Она достаточно просторна и снабжена хорошей вентиляцией.

Наконец, имеется и столярная мастерская, оборудованная строгальными машинами.

Теперь я перейду к самому существенному — к тому специальному оборудованию, которое имеется в нашем институте и которое пришло из Англии. Ставился вопрос о том, делать ли это специальное оборудование у нас в Союзе или же получить его из Англии. Сделать это оборудование у нас в Союзе, конечно, было возможно, так как наша советская промышленность на достаточной высоте, чтобы сделать все, что делается за границей.

Но все-таки сделать такое оборудование в Союзе оказалось чрезвычайно трудно. Трудность заключается в том, что наша промышленность не приспособлена для обслуживания научной работы: все делается в больших масштабах; мелкое, несерийное машиностроение почти отсутствует. В подобных случаях приходится обращаться к инструментальным цехам заводов, но тогда цены на отдельные специальные предметы достигают чрезвычайных размеров, а сроки изготовления получаются невероятно долгие. Нам, ученым, надо добиваться, чтобы промышленность шла нам навстречу, помогала бы нам, нам надо больше заинтересовывать ее.

Специальное оборудование было получено из Англии. Я обязан этим своему большому другу и учителю Резерфорду, который убедил Кембриджский университет продать Советскому Союзу оборудование Мондовской лаборатории. Оборудование пришло и уже полностью установлено. Это оборудование состоит, во-первых, из машины для получения сильных магнитных полей. Эта машина была построена еще 12—14 лет

тому

133

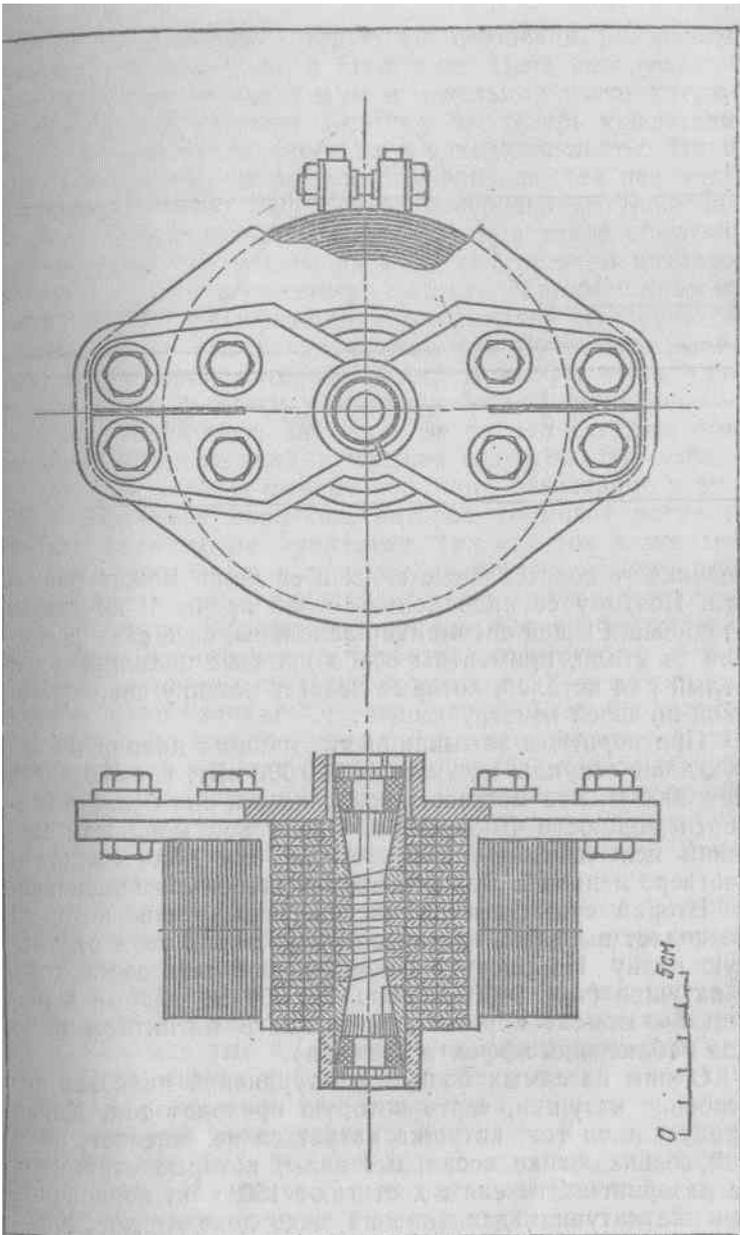
назад. Она представляет собой однофазный генератор, который дает большие мощности при коротких замыканиях. Я не могу останавливаться на деталях этой машины, так как это могло бы занять чересчур много времени, но основная идея ее работы очень проста. В получении сильных магнитных полей в электромагните мы ограничены явлением магнитного насыщения железа. Если железо насыщено, то идти дальше мы можем очень медленно. Сила магнитного поля пропорциональна логарифму линейных размеров магнита. Построив магнит весом более 100 т, как это сделал Коттон в Париже, затративший на него несколько миллионов франков, мы выиграем только 25% в увеличении магнитного поля по сравнению с лабораторным магнитом обычного типа. Поэтому надо было идти по другому пути.

Этот другой путь, который мы и выбрали, заключается в следующем. Надо было отказаться от получения постоянных полей и перейти к получению кратковременных полей, т. е. пропускать через катушку очень сильные токи, создающие в ней сильное магнитное поле, но в течение столь короткого времени, что катушка не успевает нагреться. На рисунке на с. 135 показана катушка, в которую можно загнать несколько десятков тысяч киловатт на одну сотую долю секунды. За одну сотую секунды катушка нагревается на 100°C. Если бы мы продолжали опыт в течение секунды, она нагрелась бы до 10000°C и расплавилась. Но за одну сотую секунды можно провести наблюдения всех тех явлений, которые имеют место в статическом магнитном поле. Это объясняется тем, что, несмотря на кратковременность магнитного поля, все явления благодаря его силе достигают таких масштабов, таких размеров, что их можно наблюдать даже в такой короткий промежуток времени. Конечно, для этого надо выработать специальную аппаратуру.

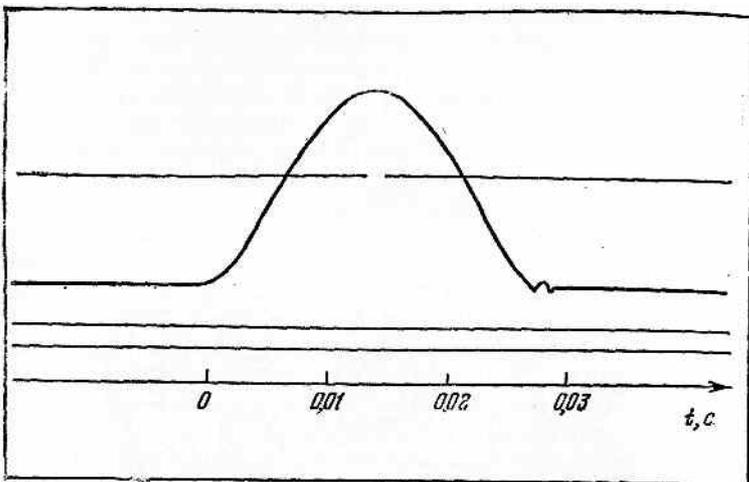
Ряд явлений был уже изучен мною в Англии, и были найдены новые физические явления.

Внешний вид машины показан на рисунке на с. 15. Ротор весит 2,5 т и вращается со скоростью 1500 оборотов в минуту. Машина была построена фирмой «Метрополитен-Виккерс» при участии советского инженера М. П. Костенко и английского инженера М. Уокера. Проблема постройки такой машины не легкая, потому что во время короткого замыкания в самой машине

134



135



возникают колоссальные силы и ее легко может разнести. Поэтому ее надо делать особо прочной: концевые соединения в ней специально заделаны, весь статор сделан из стали, применены особо прочные подшипники и целый ряд деталей, которые делают машину специфической по своей конструкции.

При коротком замыкании эта машина давала на сотую долю секунды мощность в 220000 кВт, т. е. 72000 А при 3000 В. Эта мощность колоссальна, она больше четверти мощности Днепрогэса. При такой мощности машина испытывалась, работает же она при мощности вчетверо меньшей. Это показывает степень безопасности.

Вторая существенная часть — замыкатель, который позволяет вырезать из даваемого машиной тока отдельную волну. На рисунке показана осциллограмма тока в катушке (ток 9400 А, поле 277000 Э; разрыв в линии I — момент образования искры в магнитном поле для наблюдения эффекта Зеемана).

Одним из самых больших затруднений является построение катушки, через которую проходит ток. Когда пропускается ток, катушка нагреться не успевает, но в ней возникают колоссальные силы, которые стремятся ее разорвать. Эти силы достигают 150 т на поперечное сечение катушки, давление на медь доходит до 5000—6000 атм,

136

Первую катушку, которую мы пробовали, разорвало. Ее диаметр был 1 см, а стал 2 см. Цепь разорвалась, при этом был большой шум и отдельные части катушки полетели в стороны. Поэтому мы теперь укрепляем все катушки, заворачивая их в стальные ленты. Но и это само по себе не решало еще вопроса, так как медь продолжала течь. Весь секрет постройки катушки заключается в подборе такой ее формы и такой обмотки, при которых все усилие на медь сводится по возможности к гидростатическому сжатию. Таким образом, медь как бы подвергается всестороннему давлению, и разрывающие усилия уничтожаются. Путем специальных вычислений, которые сделал Кокрофт, этого удалось достичь, и теперь катушки работают спокойно.

Следует обратить внимание на то, что катушка стоит в одном конце зала, а машина в другом. Это сделано вот для чего. В момент короткого замыкания в машине возникает пара сил, которая тормозит ротор и создает реакцию на фундамент. Так как ток возникает на одну сотую долю секунды, то в тот момент, когда нужно делать опыт, происходит нечто вроде маленького землетрясения. Вследствие этого при фотографировании, например, зеемановского эффекта, спектрограф будет дрожать и линии получатся размытыми. Как можно избежать этого толчка? Конечно, можно было бы толчок поглотить, но гораздо проще поместить машину в одном конце зала, а катушку в другом. Так как опыт происходит одну сотую долю секунды, то волна сотрясения подойдет к катушке только тогда, когда опыт будет уже закончен, и никаких неприятностей не вызовет. Этим объясняется большая длина зала.

Экспериментировать с коротким временем вообще чрезвычайно заманчиво. Может показаться, что короткое время ограничивает нас, но если им правильно пользоваться, то оно дает и большие преимущества. Благодаря большой силе магнитного поля все явления достигают, как уже было отмечено, таких размеров, что их обычно можно наблюдать даже в такой короткий промежуток времени, как сотая доля секунды, разумеется, если для этого создана подходящая аппаратура. С другой стороны, все мешающие явления, в которые входит элемент времени, как, например, тепловые возмущения, в ряде случаев перестают сказываться. В качестве примера я могу указать хотя бы на изучение

137

магнитострикции в висмуте. За сотую долю секунды, в течение которой мы ее наблюдаем, изменения длины, вызываемые случайными тепловыми явлениями, столь малы, что не искажают удлинения, обусловленного влиянием магнитного поля. В стационарных магнитных полях термические возмущения являются основной помехой, ограничивающей точность наблюдений. Таких примеров можно привести много.

Работая с магнитным полем и производя ряд опытов, мы нашли, что многие явления, в особенности гальваномагнитные явления, наиболее интересны при низких температурах. Тогда мы начали заниматься получением жидкого водорода и жидкого гелия и строить соответствующую аппаратуру. В то время (8 лет тому назад) это было трудно, так как единственной лабораторией, где эта техника была освоена, была лаборатория Камерлинг-Оннеса в Лейдене и существовал ряд таких навыков и приемов, которые не были хорошо известны, но которые очень существенны для получения низких температур. Вообще в этом деле играет большую роль умение организовать работу, подбирать кадры, научить их соблюдать известную чистоту, правильно подбирать

материалы для работы и т. п. Все эти мелочи очень важны, так как малейшее упущение в этом направлении может сорвать эксперимент.

Первое, с чего я начал,— это постройка водородного ожижителя, подобный которому у нас здесь установлен. Он отличается от обыкновенного только тем, что в нем есть двойной цикл: цикл для чистого водорода и цикл для грязного водорода. Охлаждение производится чистым водородом, а сжижается более грязный, технический водород. Таким образом удается обойти самую большую трудность при получении жидкого водорода — необходимости иметь чистый водород как исходный продукт для ожижения, а можно работать, ожижая технический водород. Производительность этого ожижителя— 7 л/ч, пусковое время — 20 мин. Столь короткое пусковое время достигнуто тем, что правильно рассчитаны все детали теплообменника, лишней металл в этом ожижителе сведен до минимума. Когда строился водородный ожижитель, мы имели в виду применять водород для получения жидкого гелия. Но когда мы подошли к получению жидкого гелия, мы нашли новый метод, при котором можно его получать, не прибегая к водо-

138

роду. С водородом работать небезопасно, и надо избегать работать с большим количеством его. Этот новый ожижитель гелия, который мы разработали, в отличие от того, каким пользовался Камерлинг-Оннес, дает возможность получать жидкий гелий без предварительного охлаждения гелия жидким водородом.

Идея аппарата очень проста. Для получения жидкого гелия обычно пользовались следующим методом. Гелий охлаждался в водороде, кипящем при пониженном давлении, с тем, чтобы получить температуру ниже температуры точки инверсии гелия; тогда за счет эффекта Джоуля — Томсона происходило охлаждение и часть гелия ожижалась. Термический коэффициент полезного действия таких ожижителей только 0,5—1%. В Лейдене работа по получению жидкого гелия производится так: в первый день добывают жидкий воздух, на второй день получают около 20—30 л жидкого водорода и только на третий день — жидкий гелий в небольшом количестве. Трудности этой сложной операции при получении жидкого гелия можно обойти, только применив для его охлаждения обратимый процесс, т. е. заставив его адиабатически расширяться при низкой температуре. Проблема сводилась к постройке машины, которая брала бы тепло у гелия при его расширении. Постройка такой машины связана с рядом трудностей, из которых первая и главная — это построение детандера (цилиндр с поршнем), работающего при низкой температуре. Поршень требует смазки, но при такой низкой температуре все вещества становятся совершенно твердыми. Вначале возникла идея применения турбины, так как турбина может работать без смазки. Но здесь мы натолкнулись на следующее забавное затруднение. Гелий при такой низкой температуре обладает чрезвычайно малым удельным объемом, а турбина выгодна только тогда, когда проходят большие массы,— инженерам известно, что хороший к.п.д. достигается только в больших паровых турбинах.

Если ограничиться практически возможными размерами турбины, то производительность ее должна быть не меньше нескольких тысяч литров жидкого гелия в час. Для лабораторных же целей, когда надо получать 1—2 л гелия в час, турбина, если мы хотим, чтобы она работала хорошо, принимает практически неосуществимо

139

малые размеры (1—2 см в диаметре). Если надо будет получать большие количества жидкого гелия, то возможность использования турбины не следует забывать. Однако для нас идея постройки турбины отпала, и надо было остановиться на машине поршневого типа. Тут было много разных возможностей, например вибрационная диафрагма и т. п., но самое простое, что удалось придумать, это следующее.

Положим, у нас есть поршень. Мы не можем сделать его плотным. Сделаем его свободным, с зазором в несколько сотых миллиметра вокруг него, чтобы он свободно двигался. Тогда во время наполнения цилиндра гелием при повышенном давлении большая часть гелия, естественно, уйдет через зазор, так как его вязкость мала. Но если дать поршню возможность производить расширение быстро, то тогда можно добиться таких условий, что успеет утечь только малое количество гелия. Условия для работы можно легко подсчитать. Оказывается, что скорости, с которыми поршень должен двигаться, технически вполне осуществимы. Мы построили такую машину еще в Кембридже, и она работает вполне успешно до сих пор. Ее термический к.п.д. около 60%.

Второе затруднение при построении машины заключается в выборе самого материала. Все материалы становятся чрезвычайно хрупкими при температуре жидкого гелия, а построить машину из хрупкого материала

нельзя. Поиски этого материала были не так легки, но материал был найден, а именно — аустенитовая сталь, которая не теряет своей пластичности даже при самых низких температурах.

Гелиевый ожижитель показан на рисунке на с. 21. Мы пользуемся следующим циклом: сперва гелий охлаждается жидким азотом, кипящим при пониженном давлении, до 65 К, затем детандер охлаждает его до 10 К, и, наконец, последняя стадия — эффект Джоуля— Томсона до ожижения. Это первая работающая машина; она давала 1,7 л жидкого гелия в час, причем каждый литр гелия получался за счет 1,5 л жидкого азота. Ее, как я уже указал, можно значительно улучшить. Теперь мы строим машину с двойным циклом и рассчитываем, что она будет давать литров 6—8...

При оборудовании института была сделана попытка создать совершенный передовой институт. Мне кажется, 140

что эта цель достигнута и институт, несомненно, можно считать не только одним из самых передовых у нас в Союзе, но и в Европе.

При создании таких институтов, оборудованных всеми удобствами для научной работы, часто возникает вопрос как у нас, так и на Западе: правильна ли сама идея создания таких институтов? Ведь самые большие, самые значительные научные открытия, почти все без исключения, были сделаны при помощи самых элементарных, простых средств. Зачем же строить такие институты, если все мировые открытия были сделаны с чрезвычайно простой аппаратурой? Этот вопрос дискутировался у нас и дискутировался на Западе. Я читал только что вышедшую книгу Дж. Дж. Томсона «Воспоминания и раздумья», в которой он описывает всю свою жизнь. Он останавливается и на этом вопросе. Я хочу привести выдержку, которая имеет большой интерес, так как именно Томсон из всех физиков конца прошлого и начала этого века сделал самые фундаментальные открытия. Он открыл электрон, открыл изотопы, а работал он с чрезвычайно простыми средствами. Что же он думает об этом? Он говорит следующее:

«...Обычно не первый шаг в открытии нового физического явления стоит больших денег. Так, открытие Рентгеном X-лучей, или супругами Кюри радия, или продолжительные опыты Вильсона над образованием капелек на частицах, заряженных электричеством,— все они стоили ничтожные суммы. Открытия, подобные этим, обязаны тому, что не может быть куплено,— именно остроте и силе наблюдательности, интуиции, непоколебимому энтузиазму до окончательного разрешения всех затруднений и противоречий, сопутствующих пионерской работе. Когда первоначальное открытие сделано, наблюдаемый эффект очень мал и требует целого ряда длительных опытов для получения достоверных результатов. Вот это стремление добиться большого эффекта и стоит дорого. Это может означать затрату многих тысяч фунтов стерлингов для постройки сильных магнитов, или даже для получения электродвижущих сил во много сотен тысяч вольт, или же для приобретения больших запасов радия. Но все эти деньги хорошо израсходованы, так как они дают нам возможность добиваться новых знаний гораздо быстрее и с большей достоверностью»,

141

Эта идея Томсона совершенно правильна. Когда Колумб отправился в экспедицию, результатом которой было открытие Америки, он плыл на простом маленьком фрегате, на лодчонке с современной точки зрения. Но чтобы освоить Америку, потребовалось построить большие корабли, как «Лузитания», «Титаник», и это полностью себя оправдало. Мне кажется совершенно правильным идти по пути строительства совершенных институтов, оборудованных по последнему слову техники.

ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНОЙ РАБОТЫ В ИНСТИТУТЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ

Доклад на расширенном собрании Президиума Академии наук СССР

1943

Когда я в 1934 г. вернулся работать в Советский Союз, то вопрос об организации науки вообще и в частности научной работы в моем институте меня очень интересовал. Я был хорошо знаком с тем, как организованы наука и научная работа за рубежом. Я был в продолжение ряда лет директором института в центре английской научной мысли — в Кембридже. На основании этого опыта я чувствовал, что те организационные формы научной работы, которые приняты на Западе, не применимы у нас полностью. Нам надо искать, мне думалось, свои собственные формы организации научной работы в институте и еще больше в организации всей науки.

Это обусловлено главным образом тем, что в нашей социалистической стране науке отводится особое место. Конечно, и в других странах хорошо известно и общепризнанно, что наука играет большую роль в развитии культуры и техники страны. Но в нашей стране за наукой признано значение одного из основных устоев развития культуры, ей отводится направляющее значение в развитии нашей техники и народного хозяйства. Поэтому организация науки должна быть у нас более целеустремленной, чем мы это видим в капиталистических странах, где она носит скорее случайный, спонтанный характер. У нас связь между наукой и жизнью должна

142

быть более тесная и полная. Особенно важны вопросы организации науки для нас — работников Академии наук Советского Союза,

Рассказывая сейчас вам об организации научной работы в нашем институте, я попытаюсь сперва дать картину тех общих принципов организации науки, из которых мы исходили, и затем расскажу, что нам удалось в действительности осуществить.

Позволю себе сделать несколько предварительных оговорок.

Я буду говорить в основном об организации института не в военное время. Как институт изменил свой облик на период войны, как мы его приспособили к нуждам военного времени, об этом я скажу несколько слов в конце своего доклада. Но это, конечно, надо рассматривать как временную стадию существования нашего института. Постоянный интерес представляет для нас структура института, какой она была в мирное время. Чем здоровее эта структура, тем легче она может быть приспособлена к боевым условиям, когда бы они ни возникли.

Хочу также напомнить вам, что наш институт молодой: он существует всего 7—8 лет. Хотя я приехал сюда уже более или менее сформировавшимся ученым, тем не менее создавать институт, не имея школы, не имея сотрудников, было трудно. Поэтому рост института шел гораздо медленнее, чем если бы он отпочковался от какого-либо другого института и на этой основе продолжал развиваться и расти самостоятельно. Дополнительные трудности в подборе кадров были связаны с особенностями нашей работы, относящейся к области сильных магнитных полей и низких температур,— области научной работы, мало развитой в то время у нас в СССР. Первые годы мы были заняты формированием и обучением основных кадров научного и обслуживающего персонала института. Только после того, как рабочее ядро было сформировано, институт смог начать нормально расти и расширяться. Этим объясняется, что наш институт развит меньше, чем это будет со временем.

С этими оговорками разрешите мне приступить к моему докладу.

Вопрос, который я с самого начала поставил перед собой, был — каковы должны быть задачи института

143

Академии наук? Задаваясь этим вопросом, я имел в виду, конечно, институт по физике или вообще институт, посвященный исследованиям в области естественных наук; задачи и организация института, работающего в других областях знания, будут, конечно, отличаться, поэтому я заранее оговариваюсь против слишком широкого обобщения тех тезисов, которые я буду развивать.

Далее, я подчеркиваю, что речь идет об организации института именно Академии наук. Что такое Академия наук? Академия наук — это главный штаб советской науки. Она, с моей точки зрения, призвана идейно руководить всей нашей наукой сверху донизу и направлять ее по здоровому руслу. Это она должна делать, и если это еще ей не удастся, то во всяком случае она должна к тому стремиться. Каждый отдельный ее институт должен вести ту же самую политику, т. е. стремиться иметь руководящее влияние на науку в той области, в которой он работает, стремиться вывести ее в передовые ряды.

Поэтому первое задание, которое должен поставить перед собой институт Академии наук,— это заниматься «большой наукой». Большая наука — это та наука, которая изучает основные явления, необходимые для наиболее глубокого познания природы. Задача большой науки — дать необходимые знания, чтобы преобразовать природу так, чтобы она служила человеку в его культурном развитии. Поэтому чрезвычайно существенным является выбор тематики института, выбор областей, в которые направлена его работа. Это направление института должно соответствовать тому направлению в развитии науки, которое в данный момент является наиболее многообещающим и при данном состоянии науки, учитывая методические возможности, может наиболее быстро и плодотворно двигаться вперед.

В области физики существуют, я считаю, три таких основных направления: исследования в области низких температур, исследования в области атомного ядра и, наконец, в области твердого тела. Я не имею сейчас возможности вникать в обоснование причин, по которым считаю эти направления наиболее важными, и, возможно, ряд товарищей физиков со мной не будет согласен. Наш институт работает над изучением явлений, происходящих при низких температурах, вблизи абсолютного нуля. Отмечу, что в последние годы это направление —

144

одно из наиболее быстро развивающихся в физике и в нем можно ожидать много новых и основных открытий. Научная работа выполняется у нас небольшим коллективом ведущих кадров. Это делает работу института целеустремленной, сосредоточенной вокруг небольшого количества ведущих тем. Ничто так не опасно для научной работы института, как засорение мелкой тематикой, отвлекающей от основных задач и устремлений. Основная тематика института разрабатывается небольшим коллективом его научных работников, тремя-четырьмя учеными, и получается целеустремленной.

Следующий по важности вопрос после выбора общего направления работы — это подбор научных работников. В большой науке значительных успехов может добиться только глубоко творчески одаренный и творчески относящийся к своей работе человек. Таких работников в науке немного, да их и не может быть много, как не может быть в стране много крупных писателей, композиторов и художников. Но зато, имея их, мы должны их поставить в такие условия, чтобы использовать их научные силы для развития нашей большой науки наиболее полно и целесообразно. Поэтому ядро института, безусловно, можно образовать только из небольшого коллектива очень тщательно подобранных научных работников. Это ядро должно всецело отдаться научной работе.

Институт должен быть организован так и в нем должны быть созданы такие условия для работы, чтобы научные работники проводили в лаборатории и занимались наукой не менее 80% времени, отвлекаясь на выполнение общественных и других функций не более чем на 20%. При этих условиях только и можно добиться того, чтобы научные работники могли сидеть в лаборатории и работать сами.

Только когда работаешь в лаборатории сам, своими руками, проводишь эксперименты, пускай часто даже в самой рутинной их части, только при этом условии можно добиться настоящих результатов в науке. Чужими руками хорошей работы не сделаешь. Человек, который отдает несколько десятков минут для того, чтобы руководить научной работой, не может быть большим ученым. Я, во всяком случае, не видел и не слышал о большом ученом, который бы так работал, и думаю, что этого вообще быть не может. Я уверен, что в тот

145

момент, когда даже самый крупный ученый перестает работать сам в лаборатории, он не только прекращает свой рост, но и вообще перестает быть ученым. Эти принципы очень важны, но они относятся только к мирному времени; в военное время приходится поступать и действовать иначе.

В особенности важно привить эти принципы начинающим ученым. В этих целях я пытаюсь вводить их работу в несколько жесткие организационные рамки. Например, научный работник не должен заниматься несколькими темами сразу, в особенности когда он находится в начале своего пути. Когда научный работник подрастет, станет более крупным, он, может быть, сумеет в виде редкого исключения вести одновременно 2—3 темы, но начинать он должен с одной.

Следующий из организационных приемов, важных для успешной работы, это то, что в лаборатории научный работник должен работать ограниченное количество часов. Работа «запоем» вредна — она изматывает человека и понижает его творческие силы. У нас в институте, например, принято, что все работы в лаборатории заканчиваются после 6 часов вечера. Научный работник должен идти домой, обдумать свою работу, читать, учиться и отдыхать. В исключительных случаях, с разрешения заместителя директора, можно работать до 8 часов вечера. Ночная работа выполняется уже только с разрешения директора и может быть оправдана техническими требованиями, вызванными специальными условиями эксперимента. Таков режим, в котором работают научные работники нашего института.

Институт, по качеству своих научных сил и по качеству своей продукции способный явиться центром большой науки, может все же стать замкнутой в себе изолированной единицей и не удовлетворять тем требованиям, которые мы вначале себе поставили, т. е. наиболее эффективно влиять на науку и культуру всей страны.

Как же может институт проявить свое влияние на развитие передовой науки страны, как может он связать себя с другими очагами научной мысли страны? Путей для этого несколько. Назовем главные из них.

Прежде всего, он должен воспользоваться для этого теми преимуществами, которыми он должен обладать как институт Академии наук, Эти преимущества заклю-

146

чаются в богатом и современном техническом оснащении в подборе сильных кадров, благодаря чему имеется возможность выполнять некоторые научные работы, которые недоступно осуществить в других институтах. У нас в институте, например, наличие специальной установки для получения в больших количествах жидкого гелия открывает исключительные возможности ведения опытов в области низких температур, какие отсутствуют в других местах. И вот, пользуясь этим, наш институт предоставляет работникам других институтов возможность приезжать как бы на гастроли — делать в институте свой работы в области низких температур, которые не могут быть поставлены в другом месте. Работы эти обычно не являются ведущими и подчас даже стоят в стороне от основной тематики института.

Организуется проезд к нам товарищей из других институтов обычно так. Товарищ, который хочет работать у нас, приглашается на наше научное собрание или семинар и докладывает опыт, который он хочет поставить. Происходит обсуждение, и, если выявляется, что предложение представляет обоснованный научный интерес, а автор достаточно квалифицирован, ему предоставляется возможность провести работу. Чтобы не расстраивать основных работ института, число таких работ со стороны невелико и у нас обычно не превышает двух-трех.

Желающих приехать поработать в институте у нас в Советском Союзе до сих пор оказывалось больше, чем возможностей их всех устроить. Это хороший показатель того, что институт является передовым, так как только в этом случае посторонние научные учреждения будут заинтересованы в работах ведущего академического института и будут стремиться соприкоснуться с ним.

Постоянное пребывание у нас работников из других научных учреждений позволило осуществить один из видов живой связи с внешним научным миром. Уезжая от нас после окончания работы, научные работники, помимо опыта, полученного от проведенной работы, знакомят свои институты и с другими нашими работами, и наш опыт все дальше и дальше проникает в другие научные учреждения страны. Таким образом, через них Устанавливается живой контакт с другими учреждениями, и мы в свою очередь узнаем, что делается там,

147

Живая связь — это самая сильная связь. Использование ее — хороший метод воздействия на развитие науки в стране.

В перспективе необходимо наладить такую же живую связь и с зарубежными учеными. В первые годы существования института к нам приезжали научные работники из-за границы. Но за последние годы политическая обстановка настолько усложнилась, что хотя желающие приехать и были, но вообще связь с границей была нарушена, так что об этой стороне нашей связи с зарубежными учеными можно говорить только в плане будущего. Но ее, конечно, нужно считать нормальным и здоровым условием работы всякого академического института, так как вся наука в мире составляет одно неразрывное целое.

Если академический институт хочет претендовать на ведущее положение, для работы в нем должны стремиться приезжать работники не только своей страны, но и других стран. Это будет объективным доказательством того, что в институте ведется передовая, большая наука.

Есть еще одна область влияния на нашу культуру и на нашу науку со стороны передовых академических институтов. Это область подготовки научных кадров.

Никто, кроме института, не может готовить свои будущие кадры, и он должен с большим вниманием постепенно выращивать их из молодежи. Поэтому созданный у нас институт аспирантуры надо всячески приветствовать и поддерживать. Но тут есть некоторые трудности, на которых я хочу остановиться.

Основная такая трудность — это отбор аспирантов. Дело в том, что связь между научными учреждениями и вузами в ряде случаев у нас неудовлетворительна. Я считаю, что это большой недостаток в нашей организации. Многие из наиболее крупных ученых ушли в научно-исследовательские учреждения. Руководство вузов осталось, главным образом, в руках педагогов учительского склада, для которых исследовательская работа является не главной частью их деятельности. Их требования к студентам, их система воспитания молодежи

обычно направлены не на то, чтобы выделять наиболее творчески сильную молодежь. Поэтому в наших вузах творческие задатки нашей молодежи плохо развиваются,

148

Присутствуя на аспирантских экзаменах, я обычно наблюдал, что вузовской профессурой наиболее высоко ценится не тот студент, который более всего *понимает*, а тот студент, который больше всего *знает*. А для науки нужны люди, которые прежде всего *понимают*. Поэтому отобрать студентов из вуза в аспирантуру по данным на экзаменах очень трудно. Чтобы правильно отобрать обещающих аспирантов, надо наблюдать их в продолжение некоторого отрезка времени, когда они заняты такой работой, на которой могли бы проявить свою творческую жилку, свое умение самостоятельно мыслить.

Я думаю, что разрыв между вузами и научными институтами и привел к тому, что подбор молодых научных кадров теперь гораздо слабее, чем было в мое время, когда главная научная работа велась в вузах. Я вспоминаю тот период, когда академик А. Ф. Иоффе руководил кафедрой физики в Политехническом институте в Петрограде. Думаю, что не случайно именно тогда в его группу работников отобрался ряд начинающих ученых, которые хорошо пошли вперед (четверо из них стали академиками).

В наших вузах и сейчас, несомненно, много обещающей и талантливой молодежи, но сито, которым мы ее пытаемся отсеять для научной работы, с такими дырками, что она проскальзывает и не попадает в научные институты. Если мы хотим начать отбирать наиболее талантливых ученых, необходимо серьезно подумать над тем, как найти форму, связывающую наши научные институты с вузами, чтобы выявлять и воспитывать наиболее творчески способную молодежь.

Поэтому мы стали искать новые формы отбора аспирантов из молодежи вузов. Пользуясь тем, что мы обладаем жидким гелием для экспериментов при низких температурах в количествах больших, чем криогенные лаборатории всего мира вместе взятые, мы имели возможность организовать при институте практикум, через который проходит каждый студент физического факультета Московского университета. Конечно, сперва такой практикум был организован только для лучших студентов, но последние два года все без исключения студенты физфака проходили этот практикум, причем каждый выполнял 2—3 лабораторные работы с жидким гелием, С точки зрения криогенных институтов — это

149

большая роскошь, потому что, например, в Лейденской и других лабораториях работа с жидким гелием и по сей день считается малодоступной даже для ученых; у нас же каждый студент МГУ имел возможность делать такие работы, как, например, по свойствам сверхпроводников, изучать магнитные явления при температурах, близких к абсолютному нулю, и т. д. Естественно, что университет приветствовал такую возможность и охотно посылал к нам студентов.

В процессе работы практикума устанавливалась такая система: лучшие студенты, наиболее хорошо себя проявившие на занятиях практикума, отмечались, и, если они желали, они могли делать больше положенных трех работ. При этом научные работники, руководившие работами в практикуме, беседовали с ними, лучших направляли побеседовать со мной. Таким образом, мы получили возможность отмечать наиболее способную молодежь, сблизиться с ней, начиная с 3—4 курса, и следить за ней. Далее, лучших из них мы приглашали к себе в институт практикантами. В этой должности они участвовали уже в исследовательской работе как младшие лаборанты, помогали нашим научным работникам в их экспериментах, делали записи, налаживали более простые работы и т. д.

Отбор в аспирантуру производился уже из кадров практикантов не только на основании ответов на экзаменах, но с учетом того, как кандидат проявил себя при работе в институте. Конечно, такой отбор молодых ученых позволяет охватить более широкий круг молодежи и лишить отбор элемента случайности.

На этом наш опыт был прерван войной. Но если бы мы его продолжали, он должен был бы развиваться так: окончив аспирантуру, получив кандидатскую степень, эти молодые ученые шли бы в другие научные учреждения и распространяли бы научный опыт нашего института. Далее, можно было ожидать, что один из десяти или один из пятнадцати окончивших аспирантуру был бы настолько талантлив, что остался бы в институте в основных кадрах творческих работников. Так рос бы институт.

Такой метод наблюдения за молодежью с университетской скамьи, тщательная и непрерывная проверка ее способностей представляют, с моей точки зрения, пока единственно правильный путь для отбора молодых

научных кадров. На эту работу нельзя жалеть сил, и не только потому, что молодые научные кадры есть наше будущее. Они — наше настоящее. По мере того, как ты становишься старше, только молодежь, только твои ученики могут тебя спасти от преждевременного мозгового очерствения. Каждый ученик, работающий в своей области, конечно, должен знать больше, чем знает в этой области его учитель. И кто же учит своего учителя, как не его ученик?!

Учитель благодаря своему опыту руководит направлением работы, но в конечном счете учителя учат его ученики, они углубляют его знания и расширяют его кругозор. Без учеников ученый обычно очень быстро погибает как творческая личность и перестает двигаться вперед. Я никогда не забывал слов моего большого учителя Резерфорда: «Капица,— говорил он,— ты знаешь, что только благодаря ученикам я себя чувствую тоже молодым». И когда я сам подхожу к старости, я чувствую, что общение с молодежью должно быть *modus vivendi*, предохраняющим тебя от увядания, обеспечивающим сохранение бодрости и интереса ко всему новому и передовому в науке. Ведь консерватизм в науке для ученого — это хуже преждевременной смерти, это тормоз для развития науки.

Теперь перейдем еще к одному важному виду связи научной работы института с внешним миром, мне кажется, несправедливо игнорируемому не только в научных институтах, но и в Академии наук в целом. Это вопрос о пропаганде науки.

У нас много говорят о популяризации науки, подразумевая под этим популяризацию ее для широких масс, но не привыкли думать, что кроме нее существует еще *пропаганда* науки. Всякое большое научное достижение, всякий шаг вперед в науке можно не только популяризовать — и это, конечно, не обязательное дело ученого; но дело ученого — это пропагандировать его, т. е. показать своим же товарищам ученым его значение, объяснить ту роль в науке, которую это достижение призвано сыграть, указать, какое влияние оно может иметь на развитие научной мысли, на наши философские воззрения, на нашу технику и т. д.

Пропаганда науки — это не пересказ научных мыслей более простым языком. Это — творческий процесс, потому что совсем не так ясно и легко представить

самому себе и объяснить другим, как может повлиять то или иное научное достижение на развитие науки, техники и культуры в целом. Между тем пропагандой науки в этом ее понимании мы мало занимаемся, и ей не отводится достаточно почетное и важное место в работе наших ученых. Этой работе, к сожалению, и в нашем институте мы не всегда отдавали должное внимание. Пропагандистская работа находила у нас свое выражение в виде отдельных лекций в научных учреждениях, привлечения на наши научные собрания сотрудников других институтов, обсуждения с ними проблем, затрагивающих области науки, смежные с нашей, и т. д. Такая форма связи науки с жизнью и в других научных учреждениях осуществляется у нас случайно, неорганизованно. Результат этого — замедленное влияние одних областей науки на другие и задержка проникновения научных достижений в жизнь страны. Нам надо подумать о том, чтобы воспитать пропагандистов науки и их работу организовать. Я всегда стараюсь поощрять возможно более широкое обсуждение всякой научной работы и не только не сдерживал научных споров, когда они возникали на научных собраниях, но, наоборот, считал, что неплохо немножко подзадорить людей, чтобы они поспорили по-настоящему. Всякое самое широкое обсуждение научных работ надо приветствовать. Чем больше споров, чем больше возникает противоречий, чем они острее, тем больше стимулов для здорового развития научной мысли. Следуя этой тенденции, наш институт, кажется, больше, чем другие институты, выступал с докладами на собраниях Физико-математического отделения Академии наук.

Подхожу теперь к одной из важнейших форм влияния научной работы на культуру — к вопросу о влиянии ее на развитие передовой техники и промышленности.

Какие организационные формы должно принять у нас, в социалистической стране, влияние науки на нашу технику и хозяйство?

Этот вопрос у нас часто дебатировался и стоит наиболее остро. Я должен прямо сказать, что ряд настроений, которые у нас в этом вопросе существуют и которые часто высказываются даже довольно ответственными руководящими товарищами, с которыми мне приходилось беседовать, я не могу разделять, Мне думает-

ся, что понятие о связи науки и техники у нас часто вульгаризируется: очень многие полагают, что всякая научная работа должна дать тут же, сейчас же непосредственный выход в технику. Эти товарищи судят о том, хорошо или плохо работает выполняющий то или иное исследование научный институт, только на основании масштаба той конкретной помощи, которую научная работа оказала той или иной отрасли промышленности. Это, конечно, неправильно. Такой подход наивен и ведет к вредному упрощенчеству. Даже поверхностное изучение истории науки и культуры показывает, что всякая большая наука неизбежно влияет не только на технику, но и на весь уклад нашей жизни.

Совершенно ясно, что только благодаря фундаментальным работам и открытиям Фарадея стали возможными такие совершенно новые виды орудий человеческой культуры, как динамо-машина, телефон и пр. Но очевидно, что не следует требовать от Фарадеев, чтобы они сами делали и телефон, и динамо-машину. У Фарадея не было инженерной складки, к тому же промышленность его времени не была еще готова воплотить все его идеи в жизнь. Белл, Сименс, Эдисон и другие крупные инженеры сделали это несколькими десятилетиями позже. Таких примеров много. Но то, что Фарадей не воплощал свои идеи в технику, не умаляет его гениальных открытий законов и свойств электрического тока. У нас же часто принято судить о достижениях науки только по ее практическим результатам, и получается, что тот, кто сорвал яблоко, тот и сделал главную работу, тогда как на самом деле сделал яблоко тот, кто посадил яблоню.

Тот взгляд на вещи, который я оспариваю, умаляет значение большой науки и, в частности, лучшей части работ, которые ведут ученые Академии наук.

Вопрос о связи науки с техникой очень многосторонен. Когда рядовой инженер рассчитывает торможение тележки, прочность строения, он пользуется законами механики, данными Ньютоном. Когда эксперт по патентам отвергает очередное «многообещающее» предложение вечного двигателя, он основывается на законе сохранения энергии, открытом Майером, и т. д. Когда к ученому приходит инженер за советом, с просьбой либо объяснить непонятное явление в процессе производства, либо указать, как можно рассчитать тот или иной

153

механизм и т. д.,— это тоже есть важный вид связи науки и техники. Все это происходит у нас каждый день при самых различных обстоятельствах в десятках, сотнях мест. Но это так обычно, что об этом мы не говорим, этого мы не чувствуем и очень мало ценим. Между тем эта форма связи есть одно из могучих средств влияния науки на технику и на промышленность. Но чтобы это влияние происходило, необходимо, чтобы у нас была большая наука и чтобы были люди, называемые учеными, которые ею умели бы владеть.

Например, наша военная техника по уровню своему стоит наравне, а во многих отношениях даже превосходит технику наших противников. Чему она этим обязана? Конечно, в первую очередь существованию у нас большой науки и ученых, влияющих по ряду незримых путей на нашу технику.

Далее, чему обязана своим высоким уровнем наша металлургия? Конечно, в первую очередь работам Чернова и всех его учеников и тем традициям научного подхода в металлургии, которые они создали в продолжение многих лет. Инженерам принадлежит, конечно, большая заслуга; они сумели воспринять, извлечь все, что нужно, из большой науки, созданной основоположниками нашей научной металлургии. Но без Чернова, Курнакова и их последователей наша металлургия, конечно, не дала бы ни такой хорошей стали, необходимой для наших орудий, которыми вооружена армия, ни такой великолепной брони, какую мы делаем сейчас. А без нее конструкторы были бы бессильными создать первоклассные танки.

Возьмите еще один пример — нашу авиацию. Чему она обязана своим прогрессом? Без работ Жуковского, Чаплыгина и их школы, конечно, она не могла бы развиваться. Но Чаплыгин никогда не мог не только сконструировать аэроплан, но даже вычертить профиля. Он был большой математик, так же как и его гениальный учитель Жуковский, который заложил основы аэродинамики полета. Перед Жуковским преклоняется весь мир за открытие основной теоремы, которая лежит в основе расчета профиля крыльев аэропланов и благодаря которой стал понятен механизм подъемной силы крыла. Но следовало ли требовать от Жуковского, чтобы он эти аэропланы рассчитывал? Его теорема — это та прекрасная яблоня, которую он посадил, и с нее бу-

154

дут срывать яблоки еще многие века все те, кто строит аэропланы.

Конечно, это влияние большой науки на технику должно быть организованнее, чем оно у нас сейчас, должно идти через пропаганду, о которой я говорил. Нужно также лучше организовать консультацию учеными

промышленности. Нужно, чтобы ученые больше интересовались теми областями техники, в которых их знания могут оказать наибольшее влияние. Если можно говорить о планировании науки, то оно должно заключаться в поощрении развития тех областей знания, которые в данный момент могут оказать более широкое влияние на развитие техники. Но нельзя требовать от большого ученого, чтобы он обязательно влиял на технику путем прямого доведения своих идей до практического результата.

Перехожу от этого общего вступления к конкретному рассказу о связи нашего института с техникой. На первый взгляд может показаться, что то, что я буду рассказывать, будет противоречить тем идеям, которые я развивал. Но это противоречие обязано случайным обстоятельствам, тому, что помимо научной работы я занимаюсь и инженерными проблемами. Но это, конечно, случайное обстоятельство, которое нельзя рассматривать как правило. Мне кажется, что самое простое будет рассказать вам о том, как институт развивал свои работы по кислороду в промышленности.

В 30-х годах в нашей технической печати оживленно обсуждался очень важный вопрос о широком применении кислорода в промышленности и возможном его влиянии на современную технику. Ряд интересных статей и расчетов наших передовых инженеров показывал, насколько велико может быть влияние дешевого кислорода на промышленность. Особо привлекательна была интенсификация черной металлургии: доменная плавка, получение сталей на кислородном дутье. Далее шли вопросы подземной газификации, интенсификации ряда химических производств и т. д. Все эти заманчивые и интересные перспективы упирались в вопрос получения в больших количествах дешевого кислорода. Одновременно предлагались и обсуждались методы получения в больших количествах кислорода,

155

Я заинтересовался этими материалами, обратив внимание на некоторые статьи с явными ошибками. Стад разбираться в разных возможностях получения наиболее дешевого кислорода. На основании современных физических представлений можно было показать, что всего дешевле будет получать кислород из воздуха, где он находится в свободном состоянии. Дальше, можно было показать,— и я докладывал об этом в Академии наук,— что наиболее дешевый путь получения кислорода на современном уровне техники лежит через сжижение воздуха и последующую его разгонку.

Жидкий воздух можно разгонять на кислород и азот подобно тому, как мы разгоняем спирт из жидкой смеси его с водой. Затем, также на основе общих научных соображений, можно было показать, что в современных установках, которые служат для получения жидкого воздуха, коэффициент полезного действия не больше 10—15%, что существующие циклы сжижения и ректификации очень усложнены. Далее, можно было показать, как нужно построить цикл, более близкий к идеальному. Можно было показать, что самым верным путем упрощения и удешевления этих процессов для получения кислорода в большом количестве будет отказ от поршневых холодильных машин и переход на ротационные — турбинные машины. Интересно было отметить, что идея постройки холодильной турбины хотя и была высказана еще в 90-х годах прошлого века Рэлеем, но, несмотря на ряд попыток, до сих пор не была успешно осуществлена. Можно было теоретически показать, в чем, по всей вероятности, была ошибочность этих попыток и как этих ошибок избежать. Всю эту теоретическую работу было интересно делать, и это, конечно, была работа ученого.

Получив эти результаты, я рассказал о них инженерам, специалистам, и указал, какого пути, по-моему, надо держаться, чтобы создать новую технику получения дешевого кислорода. Они мне прямо сказали, что профессор фантазирует — это все чересчур нереально и далеко от их современных представлений. Иначе говоря, наша техническая мысль не была достаточно зрелой, чтобы воспринять эти новые идеи.

По существу, как ученый, я мог бы здесь остановиться, опубликовать свои результаты и ждать, пока техническая мысль достаточно созреет, чтобы их охва-

156

тить и воплотить в жизнь. Сегодня я знаю, что этим творческим исследованием я предначертал всю ту работу, которую делал сам последние 4 года уже как инженер и которую, как я вначале предполагал, должна была бы делать наша промышленность. На этой теоретической работе я имел бы право остановиться, если бы сам не был инженером, если бы меня, не скрою этого, не разобрал задор инженера. Мне говорят, что те идеи, которые я выдвигаю как ученый, нереальны. Я решил сделать еще шаг вперед.

За полтора-два года я построил в институте машину для получения жидкого воздуха на этих новых принципах. Общие теоретические положения, которые были высказаны, оправдались. Машина была подвергнута экспертизе правительственной комиссией. Постановление Экономсовета обязывало один из заводов воспринять наш научный и технический опыт и развивать дело дальше. Я думал, что на этой стадии я смогу успокоиться. Завод начнет разрабатывать новые установки и станет *далее* их развивать в том же направлении. Я предполагал, что из нашей лабораторной модели, дающей все необходимые показатели и тем самым подтверждающей все основные выдвинутые теоретические положения, промышленность разовьет новую технику получения дешевого кислорода. Но на деле вышло совсем не так. Хотя правительством были даны заводу довольно жесткие указания, завод все-таки не выполнил их.

Присматриваясь к тому, что происходило на заводе, нетрудно было понять причину задержки в развитии и внедрении в жизнь новых установок. На данном заводе были молодые талантливые инженеры и конструкторы, которые отнеслись к нашему заданию с большим интересом. Некоторые из них и сейчас работают со мною. Общее отношение заводского коллектива к новому заданию нельзя было назвать враждебным. Он признавал пользу и интерес нового, но у работников завода просто до него руки не доходили. Они были связаны повседневными заботами и, главное, выполнением основного плана завода. Конечно, наши установки отнимали много сил, мешали выполнению плана, а по своему масштабу, как мелкое производство, в годовом балансе завода не играли никакой роли,

157

Я думаю, что лучше всего можно охарактеризовать отношение завода к новым творческим начинаниям, вспоминая и несколько перефразируя строки из «Фауста». Вы, может быть, их помните, а применительно к данному случаю они могут звучать так:

К высокому, прекрасному стремиться, Увы, житейские дела мешают нам
И если годовой наш план осуществится, То блага высшие относим мы к мечтам...

Наши заводы хотят добросовестно отнестись к новым научным достижениям, но жизнь ставит их в такие условия, что выполнение плана является для них наиболее важным. Год работы показал, что нет надежды, что при таких условиях завод станет развивать самостоятельно проблему дешевого кислорода.

Тогда было решено изменить нашу тактику. Задание было передано на другой завод, где был создан специальный цех и конструкторское бюро, которые занимались исключительно нашими установками. Постановлением Экономсовета подбор кадров этого цеха и техническое руководство этой работой были переданы институту.

Между тем, чтобы не терять времени, в институте делалась та работа, которую, как мы рассчитывали, должна была взять на себя промышленность. От установки для получения жидкого воздуха мы перешли к осуществлению новых циклов, к постройке установки для получения жидкого кислорода. Мы продолжали проверять наши теоретические построения и получили жидкий кислород на турбоустановках. При этом мы интересовались еще, сколько часов подряд наши установки могут работать непрерывно, в каких условиях работы на заводе им предстоит за себя постоять. Поэтому, хотя кислородная установка института работала исправно, все-таки нельзя было заранее сказать, что она уже доросла до промышленного образца.

На новом заводе дело шло теперь лучше, чем на первом, но все же он «раскачивался» медленно, и хотя мы руководили цехом, но наше вмешательство как постороннего элемента не проходило всегда гладко. Через год-полтора удалось построить несколько установок и передать их промышленности. Трудно сказать, как бы дело шло дальше, так как началась война, и на этом новая форма связи с промышленностью кончилась.

158

Опыт работы с заводами научил нас многому. Он показал, что в промышленности есть творческие инженеры, есть стремление к новой технике. С самых первых шагов нашей работы над кислородом мы встречали большую помощь, поддержку и интерес ко всем нашим начинаниям со стороны правительства. Нам охотно шли навстречу во всех наших начинаниях. Конечно, только благодаря этому работа двигалась вперед. Что же в таком случае тормозило дело? Несомненно, организационные моменты. Наша заводская промышленная организация недостаточно приспособлена для быстрого и гладкого освоения новых идей в технике. Однако у меня нет сомнения в том, что при нашей хозяйственной системе можно найти и создать те организационные формы, которые открыли бы возможность гладкого и быстрого внедрения и развития передовых идей в технике

и дали бы возможность широкого влияния науки на промышленность. Но эти формы еще не найдены, их еще надо искать.

Война обостряет нужду страны в кислороде. Приходится, засучив рукава, самим всеми силами браться за доработку машин под промышленный тип, изучать вопросы выносливости, продолжительности эксплуатации. Это мы делали в Казани после эвакуации туда института. Параллельно, на основании казанского опыта, по нашим чертежам, под руководством и совместно с институтом срочно строятся крупные промышленные установки, которые начинают вступать в промышленную эксплуатацию.

Война и предстоящие в послевоенный период народнохозяйственные задачи страны поставили кислородную проблему очень остро. Нам надо было действовать энергично, чтобы использовать для нашей страны все возможности, которые открывает для промышленности наш метод получения кислорода. Я не могу входить в подробности принятых мероприятий, скажу только, что сейчас создан самостоятельный главк — промышленное управление по кислороду, одна из главных задач которого — разрабатывать и внедрять установки нашего типа. У главка есть свой завод. Руководство этой организацией поручено мне.

Тема моего доклада не позволяет мне более подробно останавливаться на задачах, поставленных перед Главкислородом и параллельно с ним созданным

159

Техническим советом по внедрению и использованию кислорода. Скажу лишь, что идея, лежащая в основе этой организации, несет в себе попытку создать организацию, связывающую большую науку с промышленностью, и попытку, используя кислород, интенсифицировать нашу металлургию, химическую промышленность, энергетику и т. д.

Тут как будто появляется противоречие с моими основными тезисами, но это противоречие легко устранить, если допустить, что существуют «два Капицы»: один — ученый, другой — инженер. На время войны ученому пришлось уступить место инженеру. Как инженер, я сосредоточил свои усилия, чтобы попытаться создать такую промышленную организацию, которая была бы приспособлена к восприятию и внедрению новых научных идей. Трудно сказать, что из этой попытки выйдет, но во всяком случае обстоятельства войны требуют приложения всех сил, чтобы добиться успеха.

Это, конечно, не противоречит тому, что я сказал вначале. Все это происходило от простого совпадения, что мне удастся работать и как ученому и как инженеру. Ведь известны же такие случаи, что человек имеет две профессии. Например, Бородин был химиком и композитором. Но нельзя возводить это в правило и ставить это в пример. Если вы слушаете певца, то не требуете, чтобы он во что бы то ни стало сам себе аккомпанировал. Поэтому и от ученого нельзя требовать, чтобы он непременно сам занимался внедрением своих научных работ до промышленных результатов.

Некоторые ученые имеют необходимую инженерную склонность, и тогда, конечно, эту счастливую случайность следует использовать. Но если этого нет, то побуждение человека делать то, к чему он не приспособлен, может принести только вред. Приведу в пример академика Н. Н. Семенова.

Работы академика Н. Н. Семенова по цепным реакциям и горению являются одними из наиболее блестящих и ведущих научных работ, сделанных у нас в Союзе. Теория горения, теория взрывов, теория детонации, вышедшие из его работ и из работ его школы, имеют колоссальное и всеми признанное влияние на современное развитие двигателей внутреннего сгорания, взрывчатых веществ и ряд других областей техники,

160

Как у нас, так и за границей, везде, где приходится сталкиваться с изучением процессов горения, имя Семенова упоминается как основное. Но если Семенов сам попытается строить двигатель внутреннего сгорания или руководить такой постройкой, то у него мало что может получиться, а его время и силы будут оторваны от большой науки, где он проявил себя как виртуоз.

Мы ценим Н. Н. Семенова как большого русского -ученого, как гордость нашей теоретической мысли, и, конечно, его работы в теоретической химии будут цениться в длинном ряду поколений. Но как инженер он ниже среднего. И если певец не создан быть аккомпаниатором своих песен, то зачем же его поощрять это делать? Не лучше ли воспитать отдельно аккомпаниаторов? Надо признаться, что мало где у нас в промышленности занимаются созданием соответствующих кадров для проведения в жизнь новой передовой техники.

Это, надо сказать откровенно, большой наш недостаток, и с ним надо бороться. Но не менее вредно валить эту работу на наших больших ученых.

Мне кажется, что этот больной вопрос — о связи науки с промышленностью — нам надо широко обсуждать, чтобы найти здоровые формы этой связи, столь необходимой для нашего быстрого культурного роста. Надо избегать вульгаризации в постановке этого вопроса, каково, например, требование, огульно обращенное ко всем ученым: непременно самим внедрять результаты своих работ, как это частенько делается даже Президиумом Академии наук. Против этого я всегда буду протестовать. Наука — большая наука — всегда двигала и будет двигать техническую мысль. У нас Советском государстве есть все возможности, чтобы сделать это влияние наиболее действенным. Но нельзя эти вопросы сводить до уровня примитива.

Теперь позвольте мне коснуться последнего вопроса — организационной структуры института. Те задачи, которые поставил перед собой институт и которые я вам обрисовал, несомненно, влияют на его структурный облик. В нашем институте существует небольшой штат постоянных научных работников, а также кадры временно работающих ученых и аспирантов. Только одна > работников принадлежала к числу постоянных, текущий же состав института доходил до двух третей.

161

Это неизбежно накладывало известный отпечаток на всю структуру института. Поскольку временно работающие не оплачиваются из средств института, естественно, что размеры нашего хозяйственного обслуживающего аппарата не соответствуют принятым нормам, отнесенным к числу одних только постоянных научных работников. С бухгалтерской точки зрения это часто ставилось нам в минус, как перерасход по хозрасходам, но если относить количество обслуживающего персонала ко всем научным работникам, работающим в институте, то несоответствия не получается.

Кроме того, надо принять во внимание, что присутствие в институте временно работающих вызывает необходимость иметь более квалифицированный обслуживающий персонал. Аспиранты вначале, если остаются без присмотра, неизбежно портят приборы и ломают аппаратуру, прежде чем научатся работать. Разрушительным явлением для научного оборудования института могут стать также и приезжие работники, если к ним не приставить опытных лаборантов. Опытные лаборанты также ускорят работу, так как могут помочь установить специальные приборы, принятые для работы при низких температурах, наладить довольно сложную термометрию глубоких температур, показать приемы обращения с жидким гелием и т. д.

Помимо штата проверенных и опытных лаборантов наш институт располагает мастерами высокой квалификации, чтобы быстро изготавливать специальную аппаратуру. Надо отметить, что ничто так не тормозит, не расхолаживает и не угнетает научную работу, как медленное изготовление приборов для опытов. Поэтому хорошая мастерская при институте приносит нам много пользы.

Немалое значение в организации института имеет финансовое хозяйство. Система финансирования, которая принята у нас для научных институтов, почти ни в чем не отличается от той, которая существует для всех других хозяйственных учреждений. Это, конечно, неправильно. Задачи хозяйственных учреждений, организация их работы в корне отличаются от научных институтов. Поэтому это несоответствие финансовой системы задачам учреждения обычно тяготит директоров наших научных институтов. Но почему-то даже Академия наук не сделала серьезной попытки изменить эту

162

систему и вместо того, чтобы приспособить ее к себе, бесконечным рядом ухищрений и выдумок приспосабливается к ней.

Нам удалось для нашего института получить разрешение на значительное изменение и упрощение финансирования. Мы исходили из того, что научный институт должен быть организационно очень гибок. В самом деле, в ходе творческой работы трудно предвидеть не только на год, но даже на месяц вперед, как будет развиваться та или иная работа и какие организационные формы и затраты будут нужны, чтобы ее наиболее успешно развивать. Гибкость нашей организации создается тем, что нам, например, разрешили, и я считаю, что это очень существенно, не регистрировать заранее наши штаты. Штаты устанавливаются директором института по мере необходимости в них. Рассказывать подробно о нашей финансовой системе было бы долго, но главная мысль ее в том, что институт получает в год лимит, который может использовать более свободно, чем обычные госбюджетные учреждения.

Чтобы убедить Наркомфин в необходимости такой системы, потребовалась некоторая настойчивость. Как раз в то время у Наркомфина была тенденция вводить так называемый тематический учет: он считал за идеал, чтобы расходы учитывались в деталях по каждой научной теме в отдельности. В своих дискуссиях с работниками Наркомфина я писал примерно следующее: «Неужели, когда вы смотрите на картину Рембрандта, вас интересует, сколько Рембрандт заплатил за кисти и холст? Зачем же, когда вы рассматриваете научную работу, вас интересует, во сколько обошлись приборы или сколько материалов на это истрачено?» Если научная работа дала значительные результаты, то ценность их совершенно несоизмерима с материальными затратами на нее. Денежная стоимость научной работы вообще несоизмерима с культурной ее ценностью. Я

спрашивал: сколько Наркомфин считал бы допустимым отпустить средств Исааку Ньютону под его работу, приведшую к открытию всемирного тяготения? Наркомфин неумоимо возражал. Споры с ним длились более полугода, и я думаю, что я бы его не переспорил, если бы не помощь и распоряжение СНК СССР. В конечном счете для института была создана

упрощенная финансовая система, которая избавляет

163

директора от ряда повседневных хлопот и необходимости «комбинировать». Это привело, например, к тому, что в институте работает только один бухгалтер и тот имеет время в периоды аврала, например, помогать на испытаниях установок, вести записи и делать измерения. Это все облегчает, упрощает жизнь института и оздоравливает его дух.

Теперь я коснусь последнего вопроса — о перестройке работы института во время войны.

Институту не пришлось очень много перестраиваться. Проблема кислорода оказалась актуальной и в военное время. Война заставила нас всех стремиться возможно быстрее реализовать весь накопленный в этой области опыт и знания. Мы пытались организовать нашу работу так, чтобы поскорее передавать весь наш опыт по кислороду промышленности, чтобы он по возможности полно был использован для борьбы с врагами. Также оказалось, что и в некоторых других областях работы института имели актуальное значение для задач войны. К сожалению, по ряду обстоятельств я не могу рассказать об этом подробнее. Направив сюда всю энергию своих работников, институту пришлось значительно сократить работу по тем направлениям, о которых я говорил в начале своего доклада. Мы почти целиком сосредоточили силы на главном направлении, на кислороде, чтобы концентрированным ударом добиваться определенных и быстрых результатов. Мы исходили из того, что научная работа, не доведенная во время войны до конца, не давшая результатов, может оказаться даже вредной, если она отнимает силы от той работы, которая более актуальна.

Заканчивая свой доклад, я хочу отметить, что я пытался касаться только самых общих и принципиальных вопросов организации научной работы. Некоторые из них далеко еще не решены нами окончательно. К сожалению, вопрос организации науки у нас еще мало дискутируется. Поэтому я допускаю, что ряд наших решений можно еще значительно улучшить. Но мне кажется несомненным, что в условиях нашей страны для организации науки есть еще много неисчерпанных возможностей. Даже при той еще несовершенной организации науки, которая есть у нас сейчас, наша большая наука уже имеет большее влияние на технику, на всю нашу жизнь, чем мы себе обычно представляем. Это

164

влияние осуществляется развивающимися традициями, создаваемыми большой наукой, и ее связью рядом незримых нитей с нашей жизнью и промышленностью. Нужно помнить, что без больших научных традиций начавших создаваться нашими учеными уже со времен Ломоносова, у нас не было бы хороших пушек, крепкой брони и быстрых самолетов, хотя непосредственно ни один из наших ученых академиков не умеет рассчитать аэроплан или выстрелить из пушки.

Мы еще не понимаем тех возможностей, которые у нас есть в стране, тех сил, которые дает нам близость нашей науки с жизнью, тех возможностей, которые нам предоставляются Советским государством для научной работы. Мы не умеем еще использовать ту большую свободу, которая существует у нас в стране для развития научной мысли. Есть еще много ошибок, есть непонимание той большой роли, которую призвана сыграть Академия наук, есть умаление своего значения со стороны самой Академии наук. Но при всем этом достижения наши вполне реальны.

Мы призваны делать большое дело в большой стране, и это дело мы сами первыми должны ценить, и уважать и о его развитии заботиться.

165

ЕДИНЕНИЕ НАУКИ И ТЕХНИКИ

Из статьи в газете «Правда» 1941

Жизнь социалистического государства строится и развивается на научных основаниях. Поэтому с первых дней своего существования Советская власть оказывает науке большое внимание и заботу. В результате у нас есть теперь наука, которая решает наиболее передовые и трудные проблемы. У нас есть также промышленность, которая делает самые тонкие и сложные механизмы. Но связь науки и техники у нас еще слаба, а это мешает нам полностью использовать весь богатый запас творческих сил нашей страны.

Только при живом и здоровом единении науки и техники они помогают друг другу: наука открывает перед техникой новые возможности, за которые она смело, без понуждения ухватывается. При росте техники наука со своей стороны не только обогащается новыми техническими возможностями, но ее тематика расширяется и становится более целеустремленной.

Нигде нет такой почвы для самого широкого применения науки, как в СССР. Поэтому мы можем объяснить еще слабое единение науки и техники только тем, что не найдены наиболее эффективные организационные формы этой связи. Несомненно, что уже при имеющемся уровне нашей науки и техники, учитывая еще не изжитые недостатки, можно было бы достичь значительно больших творческих технических завоеваний. Я не думаю, что эта задержка объясняется только такими очевидными и постепенно изживающимися недостатками, как известная засоренность творческих кадров, бюрократичность, неупорядоченность снабжения и проч. Мне кажется, что у нас есть и более важные организационные недостатки, обсуждению которых еще мало уделялось внимания.

166

Для успешной борьбы за овладение природой нужна своя стратегия и тактика. Здесь, как и при сражении, самое важное — это правильное распределение сил по фронту и ясное задание бойцам. Штаб же командования нашей научной армии не только не на высоте, но часто армия сражается без командования. На многих фронтах новых завоеваний нашей науки и техники у нас просто нет еще организованной армии, а действуют изолированные «партизанские» отряды. Нет и сосредоточения хорошо отобранных сил на определенных участках с тем, чтобы можно было быстро добиваться решающих результатов. При этом чувствуется как бы боязнь сосредоточить весь удар на определенных точках, отбросить на сегодня в сторону проблемы, пускай сами по себе значительные, но черед которых наступит только завтра. И получается, что наши творческие силы распыляются на растянутом, фронте, а так ни один полководец еще не выигрывал крупного сражения.

Нужно вдохновить научную армию поставленными проблемами и дать ей почувствовать значение побед на данных участках. Нужно еще умело формировать боевые единицы и выдвигать им ответственных командиров. Жизнь показала, что всякие воздействия на творческих работников науки и техники действительны только при поддержке здорового общественного мнения. Оно создается на научных собраниях и печати. Эту важнейшую организационную возможность мы еще недостаточно используем.

Для примера возьмем общие собрания Академии наук. Они хорошо посещаются. На них заслушиваются интересные доклады, но чаще — это профессорские лекции для пополнения образования, а не научные дискуссии. Почти нет дебатов, нет традиций выносить общественную оценку отдельным научным или техническим проблемам и связанным с ними работам. Нет даже стремления вызвать дебаты. А ведь дебаты не возникают ми собой, их надо культивировать. Для этого надо заранее выбрать наиболее важные и острые вопросы, одновременно подобрать и подготовить оппонентов. Председательствующий должен направлять дебаты, формулировать спорные тезисы, не давать при обсуждении отклоняться от основных вопросов. Если научный доклад своему характеру не вызывает дебатов, как, например, просто доклад о научном открытии, то во всяком случае

167

собрание должно заслушать мнение ведущих специалистов, чтобы была создана правильная общественная оценка. Без дебатов и обсуждения ведь не к чему делать доклады — проще и дешевле их печатать.

Мне часто кажется, что как будто мы в научной среде даже боимся дебатов и определенных оценок. Может быть, это потому, что мы еще считаемся с ложным самолюбием, основанным на неправильном представлении, будто хороший ученый не может ошибиться, ибо «ошибка» должна его дискредитировать. Мы как будто забываем, что «только тот не ошибается, кто ничего не делает». Ведь всякая научная истина сегодняшнего дня может быть завтра дополнена или изменена, ибо мы находимся в состоянии непрерывного приближения к познанию истинной природы вещей. Только преодолевая ошибку за ошибкой, вскрывая противоречия, мы получаем все более близкое решение поставленной проблемы. Ошибки не есть еще лженаука. Лженаука — это непризнание ошибок. Только поэтому она — тормоз для здорового научного развития.

Надо отметить, что часто наша печать тоже сторонится обсуждения спорных вопросов науки и техники. Отсутствие здорового общественного мнения по ряду вопросов не только влечет за собой возможность развития у нас вредной и никчемной научной работы, но также мешает сосредоточению лучших сил вокруг центральных задач.

Отсутствие дискуссий совсем не отвечает нашим общим установкам. У нас всякое научное и техническое достижение является достоянием всей страны, и люди хотят его не только понять, но и оценить. А справедливая общественная оценка вдохновляет работника и помогает создать тот энтузиазм, который так необходим в творческой работе. Каждый значительный научный и технический вопрос имеет у нас общественное значение и поэтому должен обсуждаться и о нем должно быть составлено суждение.

Организация армии творческих работников в нашей промышленности, мне кажется, еще менее развита, чем в области науки. Если наши ученые все-таки объединены в некоторый коллектив, то творческие работники техники так распылены в нашей громадной промышленности, что когда ставится задача собрать их в ударный кулак, то это оказывается очень трудно.

168

Я опять буду говорить не о тех, более мелких сражениях, которые ведут к ряду технических усовершенствований, как например: подбор более подходящих материалов, рационализация процессов, уменьшение затрат рабочей силы, повышение качества продукции и проч. Такой рост техники, хотя часто он и ведется «партизанским» путем энтузиастами-одиночками, имеет большое значение и вообще идет у нас неплохо. Наиболее замечательно, конечно, у нас то, что им захвачены, как ни в одной другой стране, самые широкие круги технических работников, начиная от рабочих и кончая инженерами. Но я имею в виду более значительные сражения, ведущиеся крупными подразделениями, результаты которых должны дать в руки нашей стране еще не изведенные возможности. Эти завоевания могут достигнуть таких масштабов, как в прошлом изобретение и внедрение турбины или дизеля.

В таких крупных сражениях даже при большой затрате средств и труда, при мобилизации лучшего, творческого коллектива ученых и инженеров, работающих упорно, с энтузиазмом, нельзя заранее гарантировать победу над природой. Но если сражение выиграно, то это означает новый этап в развитии промышленности. Достижения такого порядка помогут нам перегнать всех. Несомненно, социалистический строй должен быть лучшим организатором таких крупных побед в технике. Ни при каких условиях капитализма невозможно так широко мобилизовать средства и людей для такого сражения.

Чтобы использовать эту исключительную возможность, нам опять же надлежит научиться быстро организовывать в армию наших лучших творческих работников во всех ведущих областях нашей техники и согласовывать их работу с нашими учеными.

Наиболее значительным, по моему наблюдению, организационным недостатком является то, что мы не придаем должного значения вопросам, связанным с внедрением новых завоеваний техники в жизнь, обычно не считая эти работы творческими. В отраслевых исследовательских институтах и заводских лабораториях созданы условия для творческой работы. В то же время самое последнее звено — внедрение новых идей — обычно осуществляется рядовыми кадрами наравне с текущими производственными заданиями. Но так же как хороший гражданин сразу не родится, а длительно воспитывается,

169

так и новая идея, лежащая в основе машин или процессов, вырабатывается только по мере их роста в жизни. Успешное «воспитание» новых идей должно вверяться не рядовому инженеру, мастеру, рабочему и пр., а хорошо отобранному, высококвалифицированному, творческому коллективу.

С отсутствием на производстве организованных кадров такого типа творческих технических работников я столкнулся, когда мне пришлось внедрять в жизнь разработанные нами установки для получения жидкого воздуха и кислорода. Эти установки, работающие на новых принципах ожижения и разделения, были освоены только в лаборатории. Перед промышленностью ставилась задача — сделать из такой установки легко эксплуатируемую и надежную в производстве машину.

Наибольшие затруднения мы встретили в организации базы для внедрения и в подборе кадров инженеров, техников, конструкторов, мастеров и других работников, способных к творческому освоению таких машин. На производстве таких людей, конечно, достаточно, но их мало знают. Они разбросаны, они не учитываются, они выполняют самые разнообразные задания. Разыскивать их приходится ошупью, а когда найдешь — получить их нелегко. Из-за отсутствия еще понимания важности завоевания новых возможностей в технике наши хозяйственники часто противятся привлечению лучших людей и созданию особых условий для внедрения проблемных работ. Значение здоровой базы для внедрений новых достижений техники показывает пример одной иностранной фирмы, которая в силу случайных обстоятельств организовала опытный завод, основная задача которого — разработка новых типов машин. Это завод «Браун — Бовери» в Швейцарии. Он возник в городе Бадене, расположенном вблизи Цюрихского университета. Пользуясь консультацией крупных профессоров, например Стодолы и др., завод этот изготовлял очень хорошие электрические машины и турбины. Но после того, как окружающие страны образовали таможенную преграду, фирма была вынуждена построить самостоятельные заводы в ряде стран — в Канаде, Германии, Франции и др. При этом техническая разработка новых машин была сосредоточена в Бадене, где были собраны лучшие кадры фирмы. Таким образом, в Бадене возник, вероятно, один из самых передовых экспериментальных заводов,

170

Конечно, причины его образования нас не интересуют, но поучительно для нас то, каких успехов может добиться завод, цель которого — в основном только создавать и осваивать новые типы машин. Что таким образом действительно возник передовой завод, доказывает, например, то, что им была осуществлена первая успешно работающая газовая турбина.

На этом примере, мне кажется, видна та сила, которая проявляется, если в одном месте сосредоточены и направлены на решение определенных заданий лучшие научно-технические творческие силы, имеющие также специальную базу для внедрения.

Поэтому, я думаю, своевременно поставить вопрос об объединении в каждой области нашей промышленности хорошо подобранных коллективов всех видов творческих работников. В зависимости от размеров производства надо, чтобы эта организация включала отдельные цехи, а в крупной области — даже самостоятельные заводы со специально подобранными кадрами. Таким путем мы создадим значительно улучшенные условия для внедрения в нашу промышленность совершенно новых направлений в технике. При заботливом и гибком руководстве такими коллективами они, несомненно, широко откроют двери в технику для всей нашей науки, и это поведет к внедрению самых смелых и передовых идей. Тогда связать научные и технические коллективы творческих работников будет значительно легче. И это будет большим шагом вперед для того, чтобы уменьшить существующий на сегодняшний день разрыв между теорией и жизнью. Ведь этот разрыв обязан своим существованием главным образом временным организационным недостаткам. А на самом деле, как мы все больше убеждаемся, все труднее сказать, где кончается наука и начинается непосредственная ее связь с жизнью.

ПЛАНИРОВАНИЕ В НАУКЕ

Выступление на совещании директоров московских учреждений Академии наук СССР

1943

Из происходящего обсуждения видно, что ясного и приемлемого для всех представления, как должны быть построены план и отчет Академии наук, пока еще нет.

171

Это происходит потому, что различаются взгляды на те задачи, которые должны быть поставлены перед планом и отчетом. Я думаю, что можно четко сформулировать четыре таких возможных задачи.

Во-первых, перед планом и отчетом в качестве главной ставится задача финансового контроля. Согласно плану отпускаются определенные средства, и потом по отчету смотрят, правильно ли эти средства были использованы.

Во-вторых, это контроль над самой работой. Сравнивают, что по плану предполагалось сделать, и потом по отчету проверяют, что было выполнено.

В-третьих, задача, на которую у нас пока что мало обращают внимания,— план и отчет служат основным средством для координации во всей стране научной работы институтов и ученых.

В-четвертых, отчет и план как главное средство для согласования научной деятельности институтов и ученых с запросами страны, ее народного хозяйства и культуры.

Две последние более широкие задачи плана, вопреки установившемуся мнению, мне думается, нужно рассматривать как важнейшие.

Сторонники планов как средства контроля научных работ считают, что план должен быть сугубо тематическим, и поэтому ученый должен заранее предвидеть, что он будет работать в рамках такого-то плана, и ему нужно столько-то денег, и нужны такие-то материалы, тогда к концу года он оправдывает эти затраты тем, что даст такие-то результаты. Следовательно, путем сопоставления плановых и отчетных данных можно по степени выполнения плана оценить работу ученого или научного института, признав ее неудовлетворительной, удовлетворительной или хорошей, как это делается в отношении завода или любого промышленного предприятия.

Такие требования к планам и отчетам обычно выдвигаются финансовыми работниками и административным аппаратом руководящего учреждения. Среди ученых такой подход к плану вызывает неудовольствие и раздражение. Ряд крупных ученых являются противниками плана любого вида. Они считают, что научная работа — это творческая деятельность, а творчество не подлежит планированию, оно должно развиваться совершенно свободно, и ученые творят только то, к чему у них лежит в данное время склонность. Для подтверждения такой

172

точки зрения приводится ряд убедительных примеров. Сам Ньютон, например, не мог бы по заданному плану открыть закон тяготения, поскольку это произошло стихийно, на него нашло наитие, когда он увидел знаменитое падающее яблоко. Очевидно, что нельзя запланировать момент, когда ученый увидит падающее яблоко, и как это на него подействует. Самое ценное в науке и что составляет основу большой науки не может планироваться, поскольку оно достигается творческим процессом, успех которого определяется талантом ученого.

Чтобы согласовать эти противоречия, выдвигается компромиссный взгляд. На нашем совещании этот взгляд выдвигал академик О. Ю. Шмидт. Он считает, что действительно существуют научные открытия и, конечно, никто не может заставить ученых заранее планировать свои открытия, и здесь мы предоставляем ученым свободу. Но есть масса работы, кроме творческой, и эту работу мы будем планировать. Я считаю этот взгляд мало обоснованным. Это соответствовало бы тому, как если бы при оценке картины в музее, хотя мы и знаем, что лишены возможности оценить, например, картину Рубенса, поскольку художественное качество деньгами не выразить, мы все же приняли бы, что можем оценить раму, краски и пр. и таким образом определить некоторую часть стоимости художественных фондов музея. Такие оценки ничего не выражают и могут удовлетворить только бюрократическую администрацию. Мне думается, что предложение О. Ю. Шмидта, как и все другие, не решает задачи, и нам надо искать более широкий подход, в основу которого должен быть положен следующий принцип: в науке самым ценным является творческий элемент, поэтому план и отчет должны составляться так, чтобы не стеснять свободу творчества, а поддерживать ее.

Неправы те ученые, которые считают, что при свободе творчества научная работа совершенно не поддается планированию, потому что она развивается только стихийно. Если мы рассмотрим достижения даже самых больших ученых, как, например, того же Ньютона, то мы увидим, что его творческая работа в области небесной механики не шла независимо от запросов мировой науки и интересов Англии того времени. Например, его юты по небесной механике, как показывают современные исторические изыскания, связаны с запросами

173

развивавшейся тогда колониальной политики Англии, которая требовала усиленного развития судоходства по океанам, а это требовало более надежного судовождения, которое имело тогда своей основой небесную механику. Работы Фарадея связаны как с быстро развивавшимся тогда учением об электромагнетизме, так и с большим ростом промышленности в Англии. Из биографии Фарадея известно, как серьезно он относился к решению тех научных вопросов, в которых он мог стать близко к запросам промышленности страны и помочь их решать.

История науки показывает, что даже большое творчество всегда было направленным, и его направление можно заранее определить как по запросам мировой науки, так и по запросам культуры страны.

При капитализме нет необходимости для ученого заранее определять эту направленность. У нас, при социализме, когда наука должна быть организованной в государственном масштабе, нам нужно заранее знать направление развития различных областей науки. Мы должны организовать работу наших ученых на основе широких обоснованных планов, стремясь к тому, чтобы творчество ученых было согласовано с запросами мировой науки и интересами нашей страны. Между творческими исканиями ученого и планом не только не должно быть противоречия, но план должен помогать успешно и свободно развиваться в стране большой науке. Если признать это главной задачей плана, то тогда нам нужно отказаться от всех мелочных контрольно-фискальных элементов плана. Мы должны сохранить в нем только его широкое организующее значение. Я считаю, что только так должен быть построен план в Академии наук.

Нам скажут: как же создавать такой план, до сих пор нигде этого не делалось? Да, нигде не делалось потому, что пока еще наука не организовывалась в государственном масштабе, как это должно иметь место в социалистической стране. У нас это должно быть сделано впервые, и поэтому никто готовую форму нам не преподнесет и мы сами должны найти эту форму.

Подводя итоги сказанному, я считаю, что отчеты и планы должны выполнять две главные задачи. Во-первых, они должны обеспечивать согласованную работу всей науки в стране, а во-вторых, должны направлять развитие большой науки в соответствии с запросами

174

мировой науки и запросами культурного роста страны. Для этого нам не надо разрабатывать детально стандартную схему для составления плана и отчета, а достаточны общие установки. Не стесняя ученого стандартной формой, надо дать ему полную свободу описать главные направления своей работы и четко обосновать выбор этих направлений. Нетрудно видеть, что такие планы и отчеты могут быть не только полезными, но и интересными. Для успешного выполнения этой задачи следовало бы еще объединить план и отчет и представлять их одновременно. Не нужно их разделять, как мы это сейчас делаем. Для читателя будет ясно значение выполненных научных работ, когда видна их связь с задачами, которые ставит перед собой ученый. При этом важно, чтобы план был цельным и касался только главного направления, в него не должны входить побочные темы, с ним не связанные. Из таких планов и отчетов будет видно, как наша научная работа в Академии наук отвечает запросам мировой науки. Это важно знать, поскольку наша научная работа является частью мировой. Тут можно предвидеть возражение: как быть с финансовой стороной плана и на каком основании определять величину отпускаемых средств?

Нетрудно видеть, что планирование финансов в научной работе можно свести к весьма простой схеме, по которой оно у нас на самом деле и делается, но маскируется тематическим планом. Я ее кратко опишу.

Начнем с помещения, где в институте ведутся научные работы. Хорошо известно, что на данной площади можно разместить вполне определенное число научных работников. Значит, в здании с данной площадью может эффективно работать только вполне определенное число

научных работников. Также хорошо известно, что на Данное количество научных работников в определенной научной области нужно иметь определенный процент технического персонала, такое-то количество обслуживающего персонала и административно-хозяйственных работников и т. д. Вся эта шкала уже хорошо установлена с точностью до плюс-минус 5—10%, и по ней можно планировать масштабы работы любого научного учреждения. Теперь относительно планирования отпускаемого количества денег. Мы знаем, что каждый научный работник в среднем расходует для своей работы примерно

175

одно и то же количество денег. Если это физик, то это одна сумма, если это химик, то другая, несколько меньше, и т. д. Эти цифры и будут, с точностью до нескольких процентов, отражать финансовые показатели средств института, расходуемых на научную работу.

Такие показатели гораздо точнее и правильнее характеризуют расходы на научную работу, чем те детальные липовые сметы, которые у нас так распространены и которые никакого отношения к реальной работе не имеют. Если для научной работы требуются специальные дорогие приборы, как, например, спектрограф или большой электромагнит, то такие расходы могут идти по специально обоснованной дополнительной смете.

Для оценки того, насколько хорошо организована научная работа в институте, следует следить не за абсолютными цифрами, а за относительными показателями: сколько процентов от общих расходов идет на зарплату, на административно-хозяйственные расходы, на научное оборудование и т. д. По этим цифрам можно следить за правильным направлением развития работы института. По таким общим цифровым показателям я уже давно слежу за расходами в своем институте.

Финансово-счетный аппарат Академии наук также должен научиться контролировать работу не по абсолютным, а по относительным показателям. Детально определять расходы на творческую научную работу тематическим планом — это не только нелепо, но даже вредно для развития науки. Таким путем мы не развиваем науку в направлении, отвечающем запросам мировой науки и потребностям культурного роста страны, но только тратим средства на никому не нужную бюрократическую писанину.

О ЛИДЕРСТВЕ В НАУКЕ

Выступление на собрании актива Академии наук СССР 1956

Я возьму на себя смелость говорить не о своей области, в которой я работаю, а об организации науки в Академии в целом.

176

Дело в том, что сейчас выступал ряд товарищей и каждый критически разбирал трудности, стоящие на пути развития в своей области, но нам надо также критически разобрать, как работаем мы в целом как большой коллектив, и выявить недостатки нашей работы — в целом.

То, что каждый из нас критикует положение дел в своей области, — это признак здорового роста нашей науки, и, конечно, мы будем это всегда делать — и через 10 лет, и через 100 лет — и всегда находить в ней недостатки, которые нужно устранять. Это естественная диалектика нашего роста.

В каком состоянии находится наша наука на сегодняшний день?

Я думаю, что мы можем сказать с полной объективностью, что нет такой области в мировой науке, которую наши ученые не могли бы сегодня полноценно освоить. Может быть, наши темпы будут невелики, может быть, это будет более дорого стоить, но вести изучение любых проблем в любой области знаний мы сейчас можем, и это большое достижение нашей науки в целом. Это не хвастовство, это может быть доказано многими фактами. Однако еще очень мало областей в науке, в которых мы занимаем ведущее место.

Лидерство в науке имеет свою, совершенно особую специфику. Приведу такое сравнение. Идет по морю караван судов — одно судно идет впереди, второе только немного отстает от него. Но лидерство в науке — это не караван судов, идущих в открытом море, но караван судов, идущих во льду, где переднее судно должно прокладывать путь, разбивая лед. Оно должно быть наиболее сильным и должно выбирать правильный путь. И хотя разрыв между первым и вторым судном небольшой, но значение и ценность работы переднего судна совершенно иные.

Можно проанализировать много областей и увидеть, что число областей, где у нас нет лидерства, сейчас уве-

177

личивается. В прежнее же время в ряде областей мы были лидерами, а сейчас это лидерство потеряли. Жизнь показывает, что очень часто новые идеи в науке рождаются у нас, но их развить, дать им жизнь мы обычно не можем. Это говорит о том, что у нас в организации науки есть коренные недостатки. А если это недостатки организации, то их можно изжить. Если бы это был недостаток идей, то никакая организация не помогла бы.

Посмотрим, как у нас за последние 30—40 лет развивалась наука.

За это время прикладная наука в институтах министерств и ведомств развивалась гораздо более интенсивно, чем научные исследования в Академии. Если мы возьмем некоторые из основных областей науки, такие, например, как авиация, аэродинамика, ядерная физика, радиотехника, оптика, и сравним, как они развивались в министерствах и Академии, то окажется, что в Академии они значительно меньше развиты. В соответствующих министерствах научные исследования в этих областях ведутся в таких масштабах и тратятся такие средства, какие не под силу Академии наук.

Можем ли мы взять на себя ответственность за лидерство в этих областях науки? Конечно, нет.

Но можно иначе поставить вопрос. Может быть, в дальнейшем, по мере роста нашей промышленности, нужно вообще упразднить в Академии целый ряд областей науки и передать их в разные отрасли промышленности? Тогда примерно лет через 20—30 вообще от Академии мало что останется. А зато наука в промышленности будет расти и она будет очень близка к практике. И критиковать Академию наук за плохое внедрение не будут. Конечно, такая ситуация нереальна. Вы все прекрасно знаете, что Академия наук всегда будет существовать. Она необходима при любом строе, как при капиталистическом, так и при социалистическом и, несомненно, при коммунистическом. Весь вопрос в том, что нужно четко определить главные задачи Академии: что должны делать коллективы ученых в Академии и что не может выполняться научными учреждениями в промышленности. Нужно эти задачи четко определить и развивать. И не отвлекать Академию от этих задач, чтобы она эффективно работала. При этом все, что можно передать

178

в промышленность, нужно изъять из Академии наук. Попробуем выявить эти основные задачи.

Хорошо известно, что наука разбивается на ряд областей. Такое деление похоже на то, которое существует в действующей армии между различными родами войск: есть пехота, есть артиллерия, есть авиация и т. д., — и каждый из этих родов войск решает свою часть общей стратегической задачи. Фронт у науки один и стратегическая задача одна — это завоевание природы, чтобы ее познать и переделывать так, чтобы развивать культуру людей. Человек в основном отличается от животного тем, что животное приспосабливается к природе, а человек, завоевывая природу, приспособливает ее к себе. Это основная разница.

Хотя деление науки на области и несколько искусственно, но, разделяя ее по специальностям, можно более эффективно ее организовать.

Развивая нашу аналогию, можно сказать, что, как и в армии, для завоевания природы должен быть штаб, который управляет всей наукой, составляя стратегические планы ее развития. А другого штаба для науки, кроме Академии, мы себе представить не можем. Тут собраны лучшие специалисты по всем видам научного оружия, которые могут направлять и организовывать стратегию завоевания природы.

Если основная задача Академии наук — быть таким штабом, то надо критически рассмотреть, как она с ней справляется и как она приспособлена к этому руководству.

Мне думается, что отсутствие нашего лидерства в науке, о котором я говорил вначале, объясняется тем, что мы недостаточно хорошо справляемся со стратегией или, лучше сказать, с идейным руководством в науке в целом. Посмотрим, где и как рождается новое в науке. Хорошо известно, что принципиально новое в науке чаще всего рождается, когда две различные области встречаются друг с другом, они как бы оплодотворяют друг Друга, и тогда и рождается что-то новое.

Здесь только что выступал академик В. В. Виноградов. Он филолог, а говорил о применении электронных машин для машинного перевода. Этой новой отраслью электроники начали интересоваться филологи и заниматься ею совместно с физиками и математиками,

179

Есть много примеров, когда физики применяли свои методы в биологии. Тогда рождается новое направление, как, например, в генетике.

Где же еще ученым различных направлений объединяться для работ в этих отраслях, как не в Академии? Создание условий для взаимного оплодотворения в различных областях науки есть одна из основных задач, которой должна заниматься Академия наук. Здесь должны быть предоставлены широкие возможности для химиков вмешиваться в биологию, физиков — в химию, математиков — в экономику и технику и т. д. Таким образом в учреждениях Академии наук будут рождаться и развиваться новые отрасли науки и новые направления.

Жизнь показывает, что новое чаще всего создается научной молодежью, молодыми учеными, и, чтобы они могли успешно развивать новые направления в науке, нужно их поддерживать. Чаще всего им мешает робость, которая мешает им преодолеть скептицизм консервативного окружения. Поэтому молодому ученому обычно очень важна моральная поддержка, она даже более важна, чем материальная поддержка. А ее, кроме ведущих ученых коллектива Академии наук, никто авторитетно молодым ученым дать не может.

Еще важнее для Академии заниматься вновь начинающимися работами, когда есть риск неудачи, когда неизвестно, что из них выйдет. Такие работы обыкновенно требуют парникового режима. Задача Академии — брать на себя риск, поскольку такие работы в случае удачи дают наиболее новые и значительные результаты. Выполняет ли это все Академия? Является ли она общественной творческой организацией или она работает по образцу бюрократической организации?

Чтобы идейно руководить и направлять науку, несомненно любая организация должна пользоваться авторитетом. Хорошо известно, что авторитет ученого не может основываться на административно-бюрократическом положении человека. Если на нашей Академии висит вывеска более 200 лет, это еще не создает авторитета академиком. Авторитет создается, когда его завоевывают путем общественного признания. Поэтому правильно, что Академия состоит из академиков, выбранных тайным голосованием, так как известно, что наибольшим идейным авторитетом пользуются выборные

180

организации. Но для того, чтобы выборы были эффективными, нужно, чтобы отбирались действительно лучшие ученые, а это осуществимо, только когда выбираемые товарищи известны как ученые. Чтобы знать тех ученых, которых мы выбираем, им должна быть предоставлена в Академии наук трибуна, чтобы у них было где выступать, показывать свои знания и завоевывать уважение научной общественности, а это мы плохо делаем.

Нужно напомнить об обязанностях членов Академии наук: звание академика дается не только для того, чтобы удовлетворить личное честолюбие человека, оно возлагает определенные общественные обязанности на ученых, и главная обязанность заключается в том, чтобы содействовать передовому развитию науки. Тот, кого выбрали в академики, не может ограничиться работой в своей лаборатории или за письменным столом. Он морально обязан принимать участие в общественной жизни Академии и влиять на здоровое развитие науки. Иначе мы не создадим передовую науку у нас в стране. Только тогда Академия сможет осуществлять идейное руководство научными исследованиями всей страны и действительно быть главным штабом завоевания природы.

Нетрудно видеть, что Академия далеко еще не справляется с идейно-творческим руководством наукой и обычно работает по образцу министерско-бюрократического учреждения.

Достаточно почитать те бумаги, которые поступают из Президиума к нам в научные институты, чтобы убедиться, что руководящая деятельность Президиума, который представляет Академию, в значительной мере является бюрократической.

Например, 20 февраля 1956 г. издается распоряжение, обязывающее директора института давать на утверждение расписание своего дня. А вот я, например, не знаю, как будет распределен любой мой рабочий день — когда я буду работать в лаборатории, когда в кабине — все зависит от хода исследований! Этим распоряжением на академика-секретаря возлагается

обязанность утвердить и проверить, чтобы ученые действительно^о следовали этому расписанию.

Как должен строиться отчет о ходе научных работ в Академии наук?

181

Казалось бы, в ведущей научной организации он должен строиться так: в мировой науке за последние годы имеются такие-то достижения; какую роль наша наука сыграла в этом движении и что Президиум делает для того, чтобы не отставать, а идти вперед? Но на деле дается чисто бюрократическая оценка: такой-то институт не выполнил план на столько-то процентов, а в чем не выполнил, что не сделал, не говорят; другой не выдал печатных листов на столько-то процентов и т. д. Для научной творческой работы такой отчет, конечно, не годится. Это министерский отчет.

По § 31 Устава Академии наук отчет должен обсуждаться и Общее собрание должно утверждать его. Но мы никогда по существу не обсуждаем отчета, а чисто формально утверждаем все это и превращаем Академию

наук в бюрократический орган, который, конечно, не может быть руководящей идейной организацией нашей науки и обеспечивать ее лидерство...

Нездоровый характер нашего научного общения проявляется в том, что наши академики не придают достаточного значения нашим научным собраниям. Вот например: А. Н. Несмеянов едет в Англию и там делает доклад в Королевском обществе (английская академия наук).

Вот у меня отчет Королевского общества. Тут приводится доклад, который читал там А. Н. Несмеянов. Нам, членам советской Академии наук, Александр Николаевич о своих интересных работах никогда еще не рассказывал, а вот английской общественности рассказал.

То же самое делал в Англии И. В. Курчатов — о ведущих работах своего института в области термоядерных явлений он рассказал в Англии, а нам не рассказал. Можно привести еще ряд примеров, но и этих достаточно.

Сейчас к нам приезжает президент Королевского общества с ответным визитом. Сможем ли мы ему организовать интересную дискуссию в области биологии?

Лорд Эдриан — один из крупнейших ученых; казалось бы, если у нас общественность на высоте, мы должны были бы устроить дискуссию, чтобы, как мы это любим, покритиковать идеализм в его взглядах.

Конечно, та критика, с которой я выступал, имеет целью устранить наши недостатки. Поэтому теперь я предложу те конкретные мероприятия, которые, мне ду-

182

мается, могут улучшить работу Академии наук и усилить её влияние на развитие нашей науки.

Разрешите, если мне позволит председательствующий, рассказать в общих чертах о том, как идейное руководство наукой совмещается с ее административным управлением в английской и американской академиях. Конечно, нам с них полностью примера брать не надо, но, поскольку в этих странах есть крупная наука, нам полезно ознакомиться с тем, как там осуществляется идейное руководство наукой.

В Англии академия наук — это Королевское общество. Я состою его членом, и оно мне ежегодно посылает отчеты о своей деятельности. Кстати, наша Академия наук мне, как и другим академикам, отчетов о своей деятельности никогда не посылает. Кроме того, Королевское общество посылает мне расписание своих научных заседаний. Там бывает около 20 заседаний в год на самые разнообразные темы. Эти темы выбраны заранее. Вот, например, некоторые из них, которые обсуждались в 1955 г.: «Жизнестойкость гибридов», «Магнитная гидродинамика», «Баланс излучения в атмосфере» и др. Это тематика общих заседаний, которые проводит Королевское общество. Доклады отобраны по наиболее актуальным вопросам, которыми может интересоваться научная общественность. Далее, в Королевском обществе есть традиция: вместе с официальным докладчиком приглашать обычно не менее двух ведущих ученых, которым предлагают быть оппонентами; это обеспечивает живую дискуссию.

Нашей Академии наук, мне думается, следует учесть этот опыт и поднять уровень научных дискуссий по широким научным проблемам как на наших общих собраниях, так и на заседаниях Президиума Академии наук.

Британская академия наук не имеет никаких административных органов, ни научных институтов, ни гаражей, ни строительства, только ряд научных журналов, которые бесплатно рассылаются ее членам. Таким образом, вся ее основная деятельность — это идейное руководство наукой. Для организации и развития научных

бот в Англии имеется Главное управление по научно-промышленным изысканиям. Это управление организовано по образцу министерства, оно финансирует и контролирует значительную часть научной работы в стране.

его ведении мало научных институтов, а больше оно

183

занято тем, что организует и обеспечивает научную работу на определенные темы в вузах и отдельным крупным ученым. Это то, что мы не делаем, мы мало интересуемся научной работой в вузах, и их работа обычно оторвана от работы академических институтов. Вузовскую научную работу, которая принципиально такого же характера, как в Академии наук, надо объединить с работой Академии, поставить под одно идейное руководство.

Теперь кратко об американской Национальной академии наук. Ее деятельность во многом похожа на деятельность Королевского общества. Я тоже состою ее членом, и она тоже присылает мне свои отчеты и журналы. Там структура несколько иная. Академия наук тоже осуществляет идейное влияние на науку, а адми-

нистрированием занимается другой общественный орган, так называемый Национальный исследовательский совет. Таким образом, там тоже идейное научное руководство не смешивается с администрированием. Надо отметить, что в капиталистических странах администрирование гораздо проще, чем у нас, потому что там не надо иметь своего хозяйства — ни своего строительства, ни своего гаража и т. п. Для всего этого нужны только средства, а все делается частными фирмами по контрактам.

Мне думается, что такое разделение между идейным научным руководством и административным должно быть и у нас в Академии. Невозможно из ученых организовать такой Президиум Академии наук, чтобы он одинаково успешно занимался строительством, хозяйством, финансами и идейным руководством всей советской наукой. Надо разделить эти функции.

Поэтому я предлагаю создать Президиум, которому поручить заниматься только идейным руководством наукой и, возможно, вопросом отбора кадров и научной информацией. А больше ничем его не загружать. Этот Президиум надо формировать из таких ученых, которые могли бы наиболее авторитетно осуществлять идейное руководство наукой и научной жизнью самой Академии путем дискуссий на общих собраниях или расширенных заседаниях Президиума. Я не думаю, что Академию надо разделить и создать у нас отдельное министерство науки, — это еще рано, а может быть, и совсем не нужно. Но надо создать административно-хозяйственный совет.

184

в Академии, который был бы ответствен перед Президиумом, но существовал как самостоятельный орган, который только бы занимался финансами, администрацией, строительством, жилфондом и проч., т. е. всем научным и бытовым хозяйством Академии наук. Этот орган не обязательно состоял бы из одних членов Академии наук.

Я предлагаю конкретно: сделать Президиум настоящей авторитетной научной организацией, идейно руководящей наукой в нашей стране и, конечно, консультирующей наше правительство по всем вопросам, требующим научной оценки, и параллельно создать другой отдельный административный орган. Но чтобы бюрократы не сели ученым на шею, этот орган должен быть ответствен перед Президиумом, который его и формирует.

КОМПЛЕКСНЫЕ НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ

Из статьи в газете «Правда» 1957

При разработке новых организационных форм научно-технических изысканий и внедрения их результатов в жизнь следует учесть опыт, полученный при решении ряда крупных технических проблем, возникающих в связи с бурным ростом науки и техники последних лет. Этот опыт, мне думается, показывает, что решать научными методами крупные технические проблемы наиболее эффективно удается в том случае, когда научно-исследовательские работы организуются иным методом, чем тот, который до сих пор считался нормальным. Поскольку об этих новых организационных формах, по-видимому, еще мало и нечетко говорят, я остановлюсь на них несколько подробнее.

Сперва кратко в хронологическом порядке укажу на основные этапы, по которым научная работа развивалась в государственном масштабе.

Значение влияния науки на технику и народное хозяйство было понято еще давно. Сперва научные изыскания проводились в лабораториях при университетах или при аналогичных высших учебных заведениях. К концу прошлого столетия научная работа развилась уже до таких масштабов, что стали создаваться самостоя-

185

тельные лаборатории и исследовательские институты. Следует отметить, что в этих институтах и лабораториях научная работа организовывалась по определенным областям знания: физика, химия, биология, астрономия и т. д. Далее появилась необходимость создавать научные институты более специализированного характера, например, из физических институтов стали выделяться институты акустики, кристаллографии, оптики и пр., из химических — институты физико-химии, органической химии и т. д.

Необходимость создавать более тесную связь науки и практики почувствовали в начале этого столетия, в особенности после первой мировой войны. Тогда в промышленности крупные металлургические,

электротехнические и другие заводы стали организовывать свои заводские лаборатории, в которых решались текущие задачи, связанные с внедрением в производство научно-технических достижений. Необходимость дальнейшего роста этих заводских лабораторий привела к тому, что из них выросли самостоятельные крупные научные институты, работающие в определенной области техники. За границей они находятся при крупных промышленных объединениях, а у нас обычно при министерствах. Мы их называем отраслевыми институтами. В научных учреждениях и в отраслевых институтах в любой культурной стране занят многотысячный коллектив людей, и при этом туда отбираются люди наиболее одаренные и трудоспособные. Крупные суммы затрачиваются на нужды этих учреждений. Количество и размеры таких институтов непрерывно растут. Характерной чертой научных и отраслевых институтов является организация их научной работы по областям знания, и до последнего времени такая организация удовлетворяла запросам жизни.

Но за последнее десятилетие жизнь стала все более выдвигать необходимость решения таких крупных научных и научно-технических проблем, которые сразу охватывают ряд областей знания. Взять, например, построение самолета, летающего на атомной энергии. Для его создания нужны физики-атомники, теплотехники, аэродинамики, не говоря о конструкторах, металлургах и др.

Такие проблемы у нас принято называть комплексными. Но если проанализировать стоящие теперь перед

186

наукой и практикой проблемы, то окажется, что, за малым исключением, все эти проблемы нужно считать в той или иной мере комплексными. Очевидно, что решение комплексной проблемы не под силу одному специализированному институту. Обычно ее решают у нас следующим образом. Всегда имеется одна наиболее заинтересованная сторона. Она и берет на себя инициативу руководства и организацию работы. Работа распределяется в виде отдельных заданий по институтам, конструкторским бюро и подобным учреждениям.

При наличии поддержки центральных директивных органов такая система организации оказалась у нас возможной. Но нетрудно видеть, что все же эта система не только громоздка, но имеет также серьезные дефекты. Ее основной недостаток — в разрозненности работников, отсутствии постоянного контакта между ними. При таких условиях нет достаточного энтузиазма и целеустремленности, которые так нужны для интенсивной творческой работы.

Жизнь подсказывает, как нужно искать выход из этого затруднения. Ряд примеров показывает, что во всех случаях, когда при решении комплексной научной или научно-технической проблемы удавалось создать единую и самостоятельную организацию, которая состояла из ученых и инженеров разнообразных специальностей, но преследующих одну общую цель — решить возложенную на них научно-техническую проблему и внедрить результаты в жизнь, оказывалось, что такая организация работала успешно. Как пример можно назвать организацию, созданную у нас для решения проблемы интенсификации кислородом металлургических и других процессов. Правда, тут уже сама жизнь заставляла проблемы такого крупного масштаба решать специальными самостоятельными организациями. Но, по существу, ничто не мешает распространить этот метод организации и на решение проблем, связанных с вопросами

о полупроводниках, жароупорных сталях, полимерах и т. д.

Поэтому параллельно с существующими у нас сейчас тематическими научно-исследовательскими институтами и конструкторскими бюро, работающими по областям знания, нам нужно будет начать создавать проблемные научно-технические организации большого и малого масштаба. Тогда каждая такая организация будет

187

служить для решения вполне определенной актуальной проблемы. По своей структуре эти организации могут, если это необходимо, включать в себя свои научно-исследовательские институты, лаборатории, конструкторские бюро, опытные заводы и проч.

Чтобы каждая такая организация успешно работала, ее надо рассматривать не как постоянно существующее учреждение, но как созданное только на время решения проблемы, будь то на несколько месяцев или на несколько лет. Поскольку эти организации будут временного характера, то в случае необходимости их легко будет организовывать в тех районах, где решаемая проблема наиболее актуальна и ближе связана с жизненными запросами.

Такое решение научно-технических проблем не потребует более крупных средств. Но главная трудность будет в том, что надо перевоспитать наших некоторых научно-технических работников, обычно стремящихся к стабильности в работе своих научных учреждений и боящихся от них оторваться. Нужно воспитать и поощрять в ученых и в передовых инженерах чувство подвижности. Такую организацию для решения научно-технических проблем можно картинно себе представить как подвижное боевое соединение, сформированное из войсковых единиц разных родов оружия. Этому соединению даны определенные оперативные задания, после выполнения которых его следует опять реорганизовать соответственно с требованиями следующего задания.

Конечно, параллельно с этими проблемными научными организациями должны существовать прежние специализированные тематические институты Академии наук и отраслевые институты при крупных заводах и главках. Вновь созданные проблемные научно-технические организации должны разгрузить наши тематические институты как от чуждой им тематики, так и от перегруженности кадрами. Это даст им возможность сосредоточиться на решении задач большого научного значения.

Я думаю, весьма вероятно, что принцип организации работ по проблемам в дальнейшем должен лечь в основу не только при решении прикладных научно-технических проблем, но и при решении теоретических научных проблем и должен оказать влияние на организацию научной работы в Академии наук. Что проблемная организация

188

здесь будет эффективна, видно из того, что сейчас наиболее интересные и передовые проблемы в науке возникают тогда, когда несколько областей знания скрещиваются между собой, например: биология с химией и физикой или радиофизика с астрономией и т. д. Необходимость комплексной разработки больших научных проблем подтверждается примером объединения научных работ и ученых по проблемной тематике, недавно проведенного в Академии наук СССР. Такое объединение оказалось не только возможным, но прошло с легкостью и было хорошо поддержано нашей научной общественностью.

ЭКСПЕРИМЕНТ, ТЕОРИЯ, ПРАКТИКА

Из выступления на Общем собрании Академии наук СССР

1962

Я хочу отметить несоответствие в развитии теоретических и экспериментальных работ и отсутствие необходимой связи теории с практикой.

Конечно, в основном я остановлюсь на физико-математических науках. Нетрудно видеть, что у нас происходит отставание экспериментальной физики от теоретической. Возьмите, например, работы, выдвинутые в 1962 г. на соискание Ленинской премии: там много работ по математике, по теоретической физике, но нет ни одной по экспериментальной физике. Я редактор «Журнала экспериментальной и теоретической физики», и мне хорошо известно, что большинство статей, которые к нам поступают, относятся к теоретической физике. Отношение примерно 1:4 или 1:3.

Наше отставание в экспериментальной физике можно видеть, сравнивая нашу физику с зарубежной.

Возьмем ядерную физику. Хорошо известно, что, несмотря на то, что техническое оснащение в этой области нас хорошее, экспериментальные результаты слабее. Практически из всего большого количества новых частиц, которые были открыты, значительная, львиная доля падает на зарубежных физиков.

Что касается теоретических работ, то тут как в математике, так и в теоретической и математической физике,

189

во многих основных областях, несомненно, мы являемся ведущими и занимаем должное место в мировой науке. Это противоположно тому, что происходит в США, где как раз экспериментальные науки развиваются в ущерб теоретическим, что очень хорошо проявилось еще лет 20 назад, когда в США стала развиваться ядерная физика и необходимо было создать атомное оружие. Для выполнения этого задания американцам пришлось «импортировать» из Европы много физиков-теоретиков.

Хорошо известно, что, когда мы решали те же задачи ядерной физики, наши теоретики оказались вполне подготовленными и достаточно квалифицированными, чтобы решить эти задачи быстро и самостоятельно. За последние годы теоретическая физика в США окрепла и разрыв уменьшился.

Показателем отставания экспериментальных наук является и то, что молодежь, оканчивающая вузы, стремится идти на теоретические работы.

Такое отставание экспериментальной физики — очень серьезный фактор, который все больше и больше будет тормозить нормальный рост нашей физики. Разрыв между теорией и экспериментом, между теорией и жизнью, между теорией и практикой есть симптом серьезных нарушений нормального развития науки. То, что у нас сейчас происходит отрыв теоретической науки от жизни, с одной стороны, и, с другой стороны, недостаточно высокое качество экспериментальных работ,— все это нарушает гармоническое развитие нашей науки и, мне кажется, происходит не только в физике, но и в ряде других областей естественных наук.

Нам следует осуществить необходимые мероприятия, чтобы поднять нашу экспериментальную физику. Конечно, для этого нужно сперва выяснить причину, тормозящую развитие нашей экспериментальной науки и нарушающую нормальную связь теоретических наук с жизнью. Стоит поставить правильный диагноз заболевания, как лечебные мероприятия станут очевидными.

Из истории развития физики хорошо известно, что деление физиков на теоретиков и экспериментаторов произошло совсем недавно. В прежние времена не только Ньютон и Гюйгенс, но и такие теоретики, как Максвелл, обычно сами экспериментально проверяли свои теоретические выводы и построения. Теперь же только в исключительных случаях теоретик ставит опыты, что-

190

бы проверить свои теории. Происходит это по простой причине. Техника эксперимента значительно усложнилась. Она требует больших усилий при выполнении опыта. Обычно это не под силу одному человеку, поэтому работа выполняется целым коллективом научных работников.

В самом деле, такое оборудование, как ускорители, оживители, сложнейшие электронные схемы, реакторы и пр., требуют большого штата научных работников для того, чтобы проводить эксперимент. Поэтому физику-теоретика невозможно самому проверять на практике свои теоретические выводы и приходится полагаться на «милость» экспериментаторов, ждать, когда они проверят на практике его выводы и предположения.

Из-за этого возникает несоответствие между количеством теоретических работ и возможностью подвергнуть их опытной проверке. В самом деле, теоретик часто печатает несколько работ в год, скажем четыре, а чтобы сделать экспериментальную проверку, требуется обычно год или полтора, причем над этим должна трудиться группа в несколько человек, скажем пять человек; очевидно, что тогда на каждого теоретика должно приходиться от 20 до 30 экспериментаторов. Это, конечно, вульгаризованная схема, но в общем она дает идею о необходимом для развития науки соотношении между теоретиками и экспериментаторами.

Сейчас число теоретиков и экспериментаторов примерно равно. В результате получается, что большинство теоретических выводов не проверяется на практике. Теоретики отвыкают от того, что всякая их работа приобретает ценность только после того, как она связана с жизнью. Теория начинает работать сама на себя, и в лучшем случае ее ценность определяется из методических и эстетических соображений.

Для гармонического развития науки нужно, конечно, чтобы теория не отрывалась от опыта, и это может иметь место только тогда, когда теория опирается на достаточно крупную экспериментальную базу. Почему же у нас ее нет? Почему же у нас так мало людей идет

экспериментальную работу и она у нас плохо организована? Ответить на этот вопрос просто: в наших условиях работа экспериментатора гораздо более тяжелая и менее «рентабельная». Не только потому, что экспериментатор в случае неудачи работы теряет не два-три

191

месяца, как теоретик, но год или полгода, т. е. то время, которое обычно сейчас нужно, чтобы завершить экспериментальную работу. Работа экспериментатора требует гораздо больше усилий, ему не только нужно понимать теорию, но он должен иметь ряд практических навыков в работе с приборами, нужно создать хорошо сработавшийся коллектив, часто эксперимент требует непрерывной работы днем и ночью; все это ведет к тому, что признание экспериментатора как ученого, достигшего научной степени, приходит значительно позже, чем для физика-теоретика.

Чтобы представить диссертацию к защите из сделанной коллективно работы, ему нужно выделить часть, которая якобы является его самостоятельным вкладом, что должно быть подтверждено руководителем работы. Нетрудно видеть, что это условие в корне противоречит здоровому духу коллективной работы, когда люди не-

прерывно обмениваются опытом и идеями, друг другу помогают и друг друга заменяют. Выделение «личной собственности» для защиты диссертации является противоестественным и тормозящим фактором развития коллективной работы.

Все это отталкивает многих людей от экспериментальной работы.

Руководитель коллектива экспериментальной группы тоже поставлен в тяжелые условия. Он несет ответственность за работу, но поскольку сам часто фактически не участвует в ней, то обычно считается, что его имя не должно входить в авторский коллектив. Молодежь, пока не вырастет, конечно, недооценивает роль руководителя, хотя он и подбирает коллектив, распределяет работу между его членами, отсеивает хорошие идеи от плохих. Конечно, роль руководителя исключительно велика. В современных условиях руководитель научной работы подобен режиссеру, он создает спектакль, хотя не появляется сам на сцене.

Современный театр и кино признают решающее значение режиссера при создании спектакля или фильма. Но то, что сейчас при современной коллективной научной работе роль руководителя обычно является решающей, еще далеко не дошло до сознания, потому и не создаются те условия, которые необходимы для успешной работы руководителя, и его работа не обставлена должным образом. Поэтому сейчас очень трудно бывает

192

привлекать способных научных работников для того, чтобы они занимали руководящие посты заведующих лабораториями, директоров институтов. Эти должности часто у нас замещаются работниками с административными навыками, без творческой научной квалификации, в результате этого коллективы начинают плохо работать, и это понижает то качество научной экспериментальной работы, о котором уже говорилось.

В таких крупных областях экспериментальной современной физики, как исследование космоса, изучение плазмы, изучение ядра, создание ускорителей, коллективы в экспериментальной работе достигают больших размеров и роль руководителя является решающей, и только правильный подбор его может обеспечить успех работы.

Когда теоретик делает свою работу, то его производственными орудиями являются карандаш и бумага, но некоторым и этого не нужно. Так, Эйлер, когда ослеп, делал свои фундаментальные математические работы в уме.

Для экспериментатора же нужна хорошая материальная база: помещение со всевозможным специальным оборудованием, большой ассортимент приборов, необходимость выполнения специальных заказов, специальные материалы, мастерские, обученный штат лаборантов и пр. Темпы и успех работы обусловлены совершенством этой материальной базы. Лет 10 назад материальная база была у нас слабее, чем за рубежом, сейчас она значительно улучшилась, но не достигла нужного уровня и продолжает тормозить ход экспериментальной работы, делает ее менее привлекательной для ученого.

Из сказанного совершенно понятно, почему наша молодежь стремится к теоретической научной работе, почему у нас возникло такое несоответствие между теорией и экспериментом и почему у нас теория оторвалась от жизни. Если мы согласимся с диагнозом, который я здесь ставлю, то необходимые меры лечения этого заболевания нетрудно найти. Они заключаются в том, чтобы поставить экспериментатора и руководителя экспериментальных работ в такие условия, в которых эта работа стала бы по крайней мере так же привлекательна, как работа теоретика. Приспособить нашу организационную систему научной работы для коллектив-

193

ной работы и поощрять этот характер работы. Такие поощрительные мероприятия могут быть построены на материальной базе и на моральных факторах.

В качестве примера можно указать на организацию тематических премий за экспериментальные работы, облегченные методы получения степеней для ряда работников на основе одной и той же коллективной диссертации и т. п.

То, что сказано о физике, можно отнести и к другим областям естественных наук. Отрыв теории от эксперимента, опыта, практики наносит ущерб прежде всего самой теории.

Я хотел бы сказать, что отрыв от опыта и от жизни происходил и у философов, занимающихся философскими проблемами естествознания. Ярким примером отрыва некоторых философов от опыта и от жизни может служить их отношение к кибернетике в конце 40-х — начале 50-х годов, когда в наших философских словарях кибернетика называлась реакционной лженаукой...

Если бы наши ученые приняли тогда это определение руководящим для дальнейшего развития этой науки, то можно сказать, что завоевание космоса, которым мы все справедливо гордимся и за которое нас уважает весь мир, не могло бы быть осуществлено, так как управлять космическим кораблем без кибернетических машин невозможно.

Вот еще пример, который показывает, к чему приводит недостаточное понимание и знание физического эксперимента. У многих еще свежо в памяти, как ряд философов, догматически применяя метод диалектики, доказывал несостоятельность теории относительности. Наибольшей критике со стороны философов подвергся вывод теории относительности о том, что энергия эквивалентна массе, умноженной на квадрат скорости света ($E=mc^2$). Физики уже давно проверили этот закон Эйнштейна на опыте с элементарными частицами. Для понимания этих опытов требовались глубокие знания современной физики, которыми некоторые философы не располагали. И вот физики осуществили ядерные реакции и проверили закон Эйнштейна не на отдельных атомах, а в масштабах атомной бомбы. Хороши были бы физики, если бы последовали за выводами некоторых философов и перестали работать над

194

проблемой применения теории относительности к ядерной физике! В какое положение физики поставили бы страну, если бы они не были подготовлены к практическому использованию достижений ядерной физики?

Эти примеры наиболее ярко характеризуют отрыв некоторых философов от практики, хотя имеется еще ряд других случаев, а именно: неправильная оценка принципа неопределенности в квантовой теории, неправильная оценка теории резонанса для изучения химических связей и другие... Неправильные обобщения были сделаны также некоторыми биологами и философами в области биологии.

Это говорит о том, что применение диалектики в области естественных наук требует исключительно глубокого знания экспериментальных фактов и их теоретического обобщения. Без этого диалектика сама по себе не может дать решения вопроса. Она как бы является скрипкой Страдивариуса, самой совершенной из скрипок, но чтобы на ней играть, нужно быть музыкантом и знать музыку. Без этого она будет так же фальшивить, как и обычная скрипка.

Работа крупных ученых-естествоиспытателей, внесших большой вклад в развитие современного естествознания, неизменно проходила в тесной связи теории и опыта. Поэтому для развития естественных наук на здоровой материалистической основе всякое теоретическое обобщение должно непременно проверяться на опыте. Гармоническое развитие теории и практики является абсолютно необходимым во всех областях естествознания.

О самом механизме связи теории с практикой мне хотелось бы напомнить красивым сравнением, употребленным еще Кельвином. Он сравнивал теорию с жерновами, а опытные данные — с зерном, которое засыпается в эти жернова. Совершенно ясно, что одни жернова, сколько бы ни крутились, ничего полезного дать не смогут (теория работает сама на себя). Но качество муки определяется качеством зерна, и гнилое зерно не может дать питательной муки. Поэтому доброкачественность эксперимента является необходимым условием как для построения передовой теории, так и для получения практических результатов.

Высокое качество эксперимента является необходимым условием здорового развития науки.

195

В заключение я хотел бы, чтобы значение и роль хорошего эксперимента запомнились бы вам в словах шуточного афоризма, принадлежащего героине романа «Джентльмены предпочитают блондинок» — одного из «классических» американских произведений: «Любовь — это хорошая вещь, но золотой браслет остается навсегда».

Я думаю, что мы, ученые, можем сказать: теория — это хорошая вещь, но правильный эксперимент остается навсегда.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ НАУЧНОЙ РАБОТЫ

Выступление на заседании Президиума Академии наук СССР

1964

Вопрос, который я хочу поставить, это: с каким коэффициентом полезного действия работают наши ученые, наши институты? Не следует ли нам направить наши главные усилия не на рост Академии, а на улучшение условий работы существующих институтов и их сотрудников, с тем чтобы поднять их производительность? Может быть, при одних и тех же материальных затратах таким путем мы больше выиграем. Спрашивается, во сколько раз мы можем увеличить производительность труда наших ученых? Конечно, тут невозможно дать точный ответ, но я думаю, что здесь у нас еще очень большие возможности.

Есть три главных способа воздействия на работу ученых, чтобы поднять ее эффективность. Называю их для краткости моральным, финансовым и кадровым.

Несомненно, наиболее важный из них первый. Выбор правильного направления научной работы, хорошее ее выполнение в значительной мере определяют отношение к ней ученых. Если ученый в выборе направления своей работы вправе не согласиться с тем или другим своим коллегой, то не считаться с мнением научной общественности в целом он уже не может. Мы должны уделять больше внимания культивированию и поддержке научной общественности в Академии. Это один из наиболее эффективных способов не только поднять

196
уровень научной работы, но и главный способ сосредоточивать наши силы на ее главных и более обещающих направлениях.

Это, по существу, и есть настоящий способ планировать научную работу.

Один из путей общественного воздействия — обсуждение проблематики и отдельных тем на научных собраниях. Надо сразу признать, что тут мы еще слабо работаем. Более узкие совещания, конференции по специальным вопросам идут хорошо, а чем шире совещание, тем оно обычно проходит хуже, пульс общественной жизни ученых на них очень слаб. Культура дискуссий и научных споров у нас увяла.

Я много раз говорил, что нам необходим клуб ученых, где мы могли бы собраться и в непринужденной обстановке поговорить о насущных вопросах. Самые интересные беседы по животрепещущим вопросам науки в свое время, когда я работал в Англии, происходили на обедах в колледжах. Мы обсуждали там вопросы, сразу захватывающие многие области науки, и это был лучший способ расширить свой кругозор и понять современное значение того или другого научного направления.

Надо развивать общественную жизнь в Академии. В эпоху культа личности это было трудно. Но ведь сейчас для этого снова есть возможность! Почему-то у нас научная общественная жизнь все еще отстает, хотя это совсем не свойственно нашему характеру.

Важным фактором морального воздействия является наше участие в зарубежной научной жизни — в конференциях и других подобных встречах. Мы пока еще очень мало принимаем в них участия. Наши делегации в четыре-пять раз меньше, чем делегации США и других стран, и часто делегаты подобраны бюрократическими методами, без строгого соблюдения признака научной квалификации и заинтересованности. Надо улучшить это дело и не жалеть средств.

Еще один способ морального воздействия на ученых, который мы недостаточно учитываем, — наши журналы. Журнал должен вести оценочно-отборочную работу. Когда приходит статья в журнал, то необходимо подвергнуть ее квалифицированной оценке и сообщить автору критику, иными словами, редколлегия научного

197
журнала должна вести работу с автором. Мы занимаемся этим в «Журнале экспериментальной и теоретической физики», хотя это хлопотливо и подчас трудно, но я считаю, что эта работа приносит большую пользу для направления научной работы.

Теперь о «кадровом» воздействии на развитие науки. Когда мы в Академии приходим к выводу, что какая-то научная область у нас отстает, то сразу ставится вопрос о материальной поддержке какой-либо лаборатории или даже о строительстве институтов и т. п. Но следует помнить, что нам невозможно поддерживать на одинаково высоком уровне все области, поэтому гораздо правильнее сосредоточить наши усилия на тех из них, где мы сильны людьми и где сложились хорошие научные традиции. Главным образом надо развивать те направления в науке, где нам посчастливилось иметь крупного, смелого и талантливого ученого. Хорошо известно, что, как ни поддерживай неударенного человека, все равно он ничего крупного и ведущего в науке не сделает. Поэтому при развитии той или иной области мы первым долгом должны исходить из творческих сил человека, работающего в этой области. Ведь наша наука — дело творческое, как искусство, как музыка и т.д. Нельзя

думать, что, создав в консерватории отделение по написанию гимнов или кантат, мы их получим: если нет в этом отделении крупного композитора, равного по силе, например, Генделю, то все равно ничего не получится. Хромого не научишь бегать, сколько денег на это ни трать. То же самое и в науке. Руководство Академии должно выискивать, привлекать и поддерживать наиболее талантливых людей, и этим следует заниматься даже больше, чем тематикой.

Руководящую роль в подборе кадров в институте должен играть директор, который сам должен быть крупным ученым. Но для этого он должен пользоваться большими правами в этом деле. Вообще сейчас директор в значительной мере скован по рукам и ногам как в кадровых вопросах, так и в финансовых. Как я указывал, финансы — это третий способ воздействия на развитие науки. Деньги на исследования у нас есть, государство не скупится, получить их нам легче, чем, например, американским ученым. Но вы, может быть, помните, была такая детская игра: «Барыня прислала сто рублей, что хотите, то купите», а потом следует

198

добавление: «Черного и белого не берите, да и нет не говорите» и т. д. Так что оказывается, что истратить сто рублей без ухищрений невозможно. В том же положении и директор: ему дают деньги, но сильно ограничивают при решении вопроса о том, как их тратить.

Известно также, что директор сильно ограничен и в подборе кадров, он не может сам никого уволить или, наоборот, поощрить. Скованность директора, его ограниченная роль в этом важном вопросе — одна из причин низкого к. п. д. наших институтов.

Не облегчив и не упростив работу директора института как ученого, направляющего научную работу, нам по-прежнему будет трудно привлекать на эту работу крупных ученых. Сейчас ряд выдающихся научных сотрудников существующих институтов (например, нашего Института физических проблем) вполне могли бы возглавить самостоятельные научные коллективы, но не хотят за это браться. Если бы работа директора была облегчена и упрощена, это, конечно, способствовало бы более быстрому продвижению способной научной молодежи на руководящие должности. Кстати, нужно отметить, что уровень нашей научной молодежи выше, чем, скажем, в США, где многие творческие, талантливые люди идут не в научные учреждения, а привлекаются к коммерческой деятельности, которая там значительно более высоко материально вознаграждается. У нас это не имеет места, но мы недостаточно используем это преимущество.

И последнее, что я хотел бы отметить, — это строительство новых институтов вне пределов Москвы. Я считаю, что это правильно. По своему опыту я знаю, что работать километрах в 50 от большого города спокойнее и продуктивнее. Но чтобы осуществить это, нам необходимо обеспечить действительно хорошие условия, лучшие, чем сейчас в Москве, как для научного творчества, так, конечно, и бытовые. Последнего нам еще не удастся достичь. Это является сейчас главным тормозом в развитии таких институтов. Поэтому научные работники очень неохотно покидают Москву. А принуждением тут невозможно добиться успеха.

При создании институтов вне больших городов нельзя жалеть средств на благоустройство быта, даже если они превышают затраты на сам институт.

199

ОСВОЕНИЕ ДОСТИЖЕНИЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ

Выступление на Общем собрании Академии наук СССР 1965

Хорошо известно, что основным показателем прогресса народного хозяйства является производительность труда, а увеличение производительности труда достигается главным образом освоением новой техники и достижений науки. Когда замедляется рост производительности труда, то причины этого надо искать в недостатках освоения промышленностью достижений науки и техники.

Из наших официальных статистических данных видно, что рост производительности труда достигал у нас в прошлом 13 % в год, затем он замедлился и в последние годы упал до 4—5%.

Это показывает, что сейчас процесс освоения достижений науки и техники у нас не удовлетворяет запросам нашей промышленности.

Я хочу остановиться на причинах, которые тормозят освоение достижений науки и техники. Известно, что у нас всегда освоение достижений науки и техники промышленностью проходит медленно и с трудом. Это видно из того слова, которое мы обычно употребляем — «внедрение». Мы говорим: «внедрение новой техники»,

«внедрение достижений науки». Слово «внедрение» в русском языке означает, что продвижение вперед происходит при сопротивлении окружающей среды. Мы так привыкли, что всякое новое научное достижение и достижение техники при их освоении встречают сопротивление, что уже давно применяем слово «внедрение», не замечая, что этим словом мы характеризуем ненормальные условия в освоении новой техники. Когда мы начнем употреблять слово «освоение» новой техники, можно будет считать, что мы достигли нормальных условий для ее развития.

Мой многолетний опыт в этой области показывает, что для успешного освоения достижений науки и новой техники промышленностью необходимо осуществление шести условий. Я их перечислю, и посмотрим, что нужно, чтобы они у нас осуществлялись,

200

Освоение новой техники означает, что промышленность должна научиться делать то, что она не делала до этого. Следовательно, освоение новой техники надо рассматривать как процесс учебы и его надо проводить с теми педагогическими приемами, которые мы обычно применяем, когда обучаем кого-либо чему-нибудь новому.

Когда мы обучаем студентов или школьников, то главное условие, которое необходимо,— это желание человека обучаться. Хорошо известно, что если такого желания нет, то палками успешно загнать знания в человека нельзя. Всегда ли наша промышленность охотно желает обучаться новому? Всегда ли у нас создаются условия, при которых промышленность действительно чувствует, что ей выгодно учиться новой технике?

Очевидно, чтобы это желание появилось, нужно создать благоприятные моральные и материальные условия. Необходимо создать такие условия, при которых наша промышленность и наши заводы были бы заинтересованы обучаться новому. Они должны чувствовать, что это им выгодно, полезно и почетно. Это и есть условие номер один.

Второе условие заключается в том, что когда вы обучаете человека чему-нибудь новому, то он при этом всегда должен иметь соответствующую подготовку. Нельзя обучать высшей математике, если ученик не знает алгебры и тригонометрии. Поэтому при обучении чему-нибудь новому обучающийся должен быть достаточно подготовлен. При освоении новой техники это у нас часто не учитывается.

Я знаю ряд случаев, когда руководство поручало заводу-исполнителю производство новой аппаратуры, при этом завод совершенно не был к этому подготовлен и, несмотря на все свое старание, не мог успешно выполнить задание. Например, одному хорошему заводу было поручено изготовление специальных металлических вакуумных дьюаров, хотя завод не имел никакого опыта в вакуумной технике. Завод с трудом справился с этим заданием, при этом выпустил много недоброкачественных дьюаров и процесс освоения занял несколько лет. На заводе, подготовленном к этому заданию, это можно было бы выполнить скорее и легче.

Значит, второе условие — достаточная подготовка ученика.

201

Третье условие, тоже хорошо известное из педагогики, заключается в том, что нельзя перегружать ученика учебной работой. Каждый завод, каждая отрасль промышленности могут за год освоить ограниченное количество нового, даже если они имеют достаточную подготовку и хотят учиться. А у нас часто бывает, что как только завод хорошо проявит себя и начнет что-нибудь хорошо осваивать, то его начинают не в меру перегружать. Надо помнить, что у промышленности, как и у человека, способность осваивать новые знания имеет свои границы.

Четвертое условие: когда вы обучаете кого-нибудь чему-нибудь, должны быть созданы достаточно благоприятные материальные условия. Нерационально обучать как человека, так и завод только за счет их внутренних материальных ресурсов. Для учения нужно всегда предоставлять хорошую материальную базу, соответствующую поставленной задаче. Попросту говоря, надо отпускать достаточно средств тем, кто обучается чему-нибудь новому.

Необходимость четырех перечисленных условий легко понять, и они сравнительно просто осуществимы.

Пятое условие, менее очевидное и гораздо труднее осуществимое, заключается в следующем. Из педагогической практики хорошо известно, что если вы обучаете кого-нибудь, то всегда нужно выработать четкую программу, по которой будет вестись обучение. Аналогично, если что-то новое осваивается в промышленности, то для быстрого и успешного освоения нужно иметь хорошо проработанную программу,

указывающую путь, по которому оно наиболее успешно будет идти. Но, как правило, на это у нас обращают мало внимания и часто предоставляют освоение самотеку, даже не считают вообще нужным иметь какую-либо программу.

При составлении таких программ необходимо выполнить два условия. Во-первых, программа должна учитывать производственные возможности завода и, во-вторых, учитывать специфику того нового, что осваивается. Обычно на заводе отсутствует человек, который мог бы сразу охватить то и другое. Поэтому, когда программу поручают составлять ученому, или изобретателю, или даже научному институту, то в этой программе не учитывается специфика производства. Когда сам завод составляет программу, то не учитываются

202

специальные требования новой техники. В обоих случаях получается неполноценная программа.

Как же выйти из этого положения? Жизнь показывает, что существует тип широко образованных инженеров, которые могут охватить обе стороны программы. Таких инженеров пока мало, и их нужно высоко ценить. Эти высококвалифицированные инженеры нам так же нужны, как инженеры-конструкторы, поэтому их нужно воспитывать и им нужно дать возможность активно работать на производстве в качестве наладчиков новой техники. В министерствах, главках должны быть организованы бюро с такими специалистами. Задачей этих бюро будет составление программ освоения новой техники и организация их осуществления на практике.

Нужно установить как общее правило, чтобы при освоении нового на производстве всегда существовала хорошо разработанная программа. Но этому важному условию освоения новой техники у нас пока мало уделяется внимания.

Наконец, шестое условие касается учителя. Если есть ученик, то должен быть учитель. Хорошо известно, что для успешного обучения между учителем и учеником должны быть хорошие, дружеские отношения. Кроме того, создатель новой техники, который передает свою работу в промышленность, кто бы он ни был — ученый, изобретатель или коллектив научного института, конструкторского бюро, — должен быть заинтересован в ее успешном освоении так же, как и завод-исполнитель. Заинтересованы ли наши ученые, наши изобретатели и инженеры в освоении промышленностью их достижений и как они связаны с предприятиями и промышленностью?

Остановлюсь только на случае, когда учителем является ученый.

Как известно, по нашим законам ученый, который занимается в промышленности внедрением, материального вознаграждения за это не получает. У нас принято, чтобы ученый работал с промышленностью в порядке общественной нагрузки. Это полностью отличается от того положения, которое существует в капиталистических странах. Когда я жил в Англии и получил звание доктора, как ученый я вступил в профессиональный союз научных работников и был обязан подписать обязательство, по которому я не имел права бесплатно кон-

203

сультивировать промышленность и даже не только бесплатно, но ниже определенной расценки, соответствующей моему ученому званию. В капиталистических странах это делается для того, чтобы члены профсоюзов не имели возможности сбивать друг у друга величину гонорара. Естественно, у нас совершенно другие условия и такого рода меры у нас не могут иметь места,

Я не хочу настаивать на том, что материальное вознаграждение у нас имеет решающее значение, но несомненно, что моральные условия для работы ученых с промышленностью должны всегда быть благоприятными.

Необходимо, чтобы ученому было интересно работать; нужно создать обстановку, при которой его работа имела бы широкое признание общественности и сотрудничество с промышленностью считалось бы полезной государственной деятельностью. К сожалению, сейчас, когда приходится обращаться в министерство, редко встречаешь к себе «любезное» отношение. Все это, конечно, не способствует развитию хороших взаимоотношений между учителем и учениками.

Часто у нас считают, что достаточно получить приказ, который предписывает освоить то-то и то-то, чтобы считать процесс «внедрения» уже обеспеченным. Но из приведенного анализа следует, что процесс освоения новой техники нельзя рассматривать просто как административную акцию, скорее к этому процессу нужно подходить, как к «педагогической поэме». Поэтому к организации освоения промышленностью новой техники нужно подходить индивидуально, без шаблона, с учетом характера людей и характера внешних условий, имею-

щих место в каждом частном случае. Приказом, конечно, тут определяется в основном финансовая и кадровая сторона, но успешное освоение новой техники зиждется на хороших отношениях между учениками и учителем и их общей заинтересованности в успехе, в исполнении хорошо разработанной программы, а это у нас, к сожалению, не всегда выполняется.

Теперь я хочу затронуть другие, не менее важные вопросы: достаточный ли наша наука дает задел для освоения народным хозяйством, достаточно ли высока производительность труда ученых? На эти вопросы нам нужно обратить серьезное внимание. Чтобы разобраться в них, я думаю, самое лучшее — сравнить некоторые данные нашей научной деятельности с американской.

204

Интересно отметить, что сейчас в США серьезно занимаются вопросами развития в стране науки и ее связью с промышленностью и при этом публикуют много статистических материалов.

Приведу некоторые интересные для нас цифры. Соединенные Штаты Америки в 1965 г. потратили на всю научную работу 21 млрд. долларов, из которых две трети дается правительством из федерального бюджета и одна треть — меценатами и промышленностью. Из этой суммы на академическую науку идет 11%, или 2,5 млрд. долларов. Отсюда следует, что основная сумма затрат идет на ту науку, которая непосредственно служит для освоения промышленностью или, как мы говорим, идет на научную работу прикладной тематики.

Далее, американцы утверждают, что их промышленности при достигнутом высоком культурном уровне и наличии свободных капиталов не хватает имеющегося задела науки, который бы служил удовлетворению запросов промышленности в освоении новой техники. Промышленность в США нуждается главным образом в развитии совершенно новых технических направлений, таких, какими когда-то были телевидение, кино и сейчас, например, являются кибернетические машины и синтетические волокна. Рождение новых областей техники не только оказывается наиболее выгодным для помещения капитала, но также имеет социальное значение, поскольку поглощает безработных и поднимает уровень жизни.

Американцы считают, что недостаточные масштабы развития их науки являются следствием, в основном, недостатка высококвалифицированных ученых и инженеров. Они считают, что научная работа могла бы получать еще больше денег, но у них сейчас не хватает того типа высокоталантливых людей, руководство которых научной работой главным образом и определяет развитие научной работы в нужном для них направлении. Поэтому в последние годы они стали в большом количестве вывозить ученых, в основном из Англии и Западной Германии. За последние 10 лет, по статистическим данным, они вывезли в Америку 53 тысячи ученых, преимущественно молодых, из них с инженерным образованием — 30 тысяч, физиков — 14 тысяч и ученых других специальностей — 9 тысяч; это значит — 5 с лишним тысяч человек в год.

205

Если считать, что один вуз выпускает в среднем 500 человек в год, то это значит, что в Европе за последние 10 лет по крайней мере 10 вузов безвозмездно готовили для Америки кадры. Поскольку американцы брали лучших людей, значит, они снимали сливки примерно с 50 вузов. Это очень взволновало англичан. При Королевском обществе была создана специальная комиссия, чтобы выяснить причину такой большой утечки в США научной молодежи и решить, какие надо принять меры, чтобы прекратить это обескровливание английской науки.

Выяснилось примерно следующее: хотя англичане и немцы платят своим ведущим ученым достаточно много, американцы платят еще вдвое больше, чем англичане и немцы. Но, оказывается, не это является решающей причиной для эмиграции ученых. Комиссия выяснила, что не только большие оклады привлекают молодых ученых. Их привлекают те условия, в которые поставлена научная работа в Америке.

Американцы отпускают свои средства на научную работу несколько иначе, чем это делается в других странах. Основные средства на науку отпускаются не научным учреждениям. Американцы охотнее дают деньги либо на определенную тему, либо отдельным выдающимся ученым, работы которых надо поддержать, обычно предоставляя при этом возможность свободы выбора темы. На научные учреждения отпускается только несколько процентов всех бюджетных средств (по-видимому, не больше 2—3%). Быть независимым хозяином своей материальной базы, конечно, очень привлекательно для ученого. Он чувствует, что его работа может быть полностью обеспечена при условии сохранения большой самостоятельности и свободы действий.

Теперь сопоставим американские статистические данные с нашими. Такое сопоставление сделать не только трудно, но почти невозможно, поскольку имеется существенная разница между организацией науки и ее финансированием в капиталистической и социалистической стране. Трудность еще усугубляется тем, что, к сожалению, мы пока еще плохо занимаемся сбором своих статистических данных, связанных с вопросами организации науки.

Сравним прежде всего численность научных работников. Американцы считают, что у них сейчас, начиная

206
счет с нижних должностей, с инженеров и техников, в научной работе занято 800 тысяч человек. У нас, по официальным статистическим данным, считая всех научных работников, начиная с младших, их около 700 тысяч. Из этих данных видно, что по числу научных работников мы, в пределах достоверности статистических данных, мало отличаемся друг от друга. Такой вывод подтверждается и данными, взятыми из французского источника, согласно которым на каждые 10 тысяч человек населения в Америке приходится 23 научных работника высокой квалификации, в Советском Союзе—18,5 научных работников той же квалификации, в Англии — только 9,7 научных работников, а в остальных странах — значительно меньше. Поскольку у нас населения больше, чем в Америке, то и по этим данным получается, что общее число высококвалифицированных научных работников у нас, как и в США, одинаковое — около 400 тысяч.

Чтобы определить производительность труда ученых, надо оценить научную продукцию. Точно это, конечно, сделать трудно. Американцы пытаются сделать это таким путем. Они подсчитали число научных работ в ведущих областях естествознания и технических наук, напечатанных учеными на всех языках в различных странах в главных научных журналах. Судя по этим американским данным, получаем, что они делают сейчас 1/3 мировой науки. Мы делаем 1/6 часть мировой науки, т. е. в два раза меньше, чем они. Каждая из остальных стран делает меньше нас. Так что по научной продукции мы являемся второй страной в мире. Но если принять приведенные цифры, то получается, что примерно с таким же количеством научных работников мы производим половину той научной работы, которую производят американцы. Поэтому, как это ни печально, но следует признать, что производительность труда наших ученых примерно в два раза ниже производительности труда ученых в США. К тому же, как будет видно из дальнейших данных, за последнее время темпы роста науки у нас стали несколько снижаться. Поэтому своевременно поставить вопрос: как нам при создавшихся условиях развивать нашу науку, чтобы поднять производительность труда наших ученых?

Производительность труда в науке определяется, во-первых, количеством материальных возможностей, кото-

207
рыми располагает ученый, и, во-вторых, качеством воспитания и отбора кадров в научные учреждения.

Рассмотрим первое: американские затраты на науку по бюджету быстро растут. Они растут за последние 20 лет в среднем по 14 % в год, а в 1965 г. рост достигнет наибольшей цифры — 20%, расходы только по федеральному бюджету составят сумму в 14 млрд. долларов.

В «Правде» в передовой статье от 17 декабря 1965г. были приведены наши расходы по бюджету на науку. На ближайший год они равны 6,5 млрд. рублей. Их рост по сравнению с прошедшим годом — 9,9%.

Таким образом, при равном количестве научных работников материальная база у нас значительно слабее, и это, конечно, сильно влияет на производительность труда. Поскольку сейчас усилить материальную базу нет возможности, то остается только значительно, примерно раза в два, уменьшить численность научных кадров, конечно, за счет улучшения их качества, т. е. надо отсеять людей, которые не полностью могут оправдать своей работой те преимущества, которые дает положение ученого в стране.

К сожалению, не видно других возможностей, кроме того, чтобы в ближайшее время целый ряд работников, которые работают в науке недостаточно эффективно, перевести в промышленность, где они могут принести большую пользу стране. Конечно, сразу такое серьезное мероприятие не делается. Но именно такой должна быть тенденция развития наших научных учреждений. Можно было бы, например, каждый год переводить 15—20% кадров из научных учреждений в промышленность и брать 7—10% хорошо отобранной и подготовленной молодежи, чтобы таким образом поднимать качество кадров и не закрывать доступ к науке перед •притоком свежих сил. Но при этом следует отметить, что даже если решиться пойти по такому пути, то с теми законами и правами, которыми сейчас располагают в Академии наук директора институтов, мы такое мероприятие провести в жизнь не сможем.

Надо не бояться сказать, что за последние несколько лет разрыв в науке между нашей страной и Америкой не только не перестал сокращаться, но увеличился, мы срочно должны искать путь наверстать происшедшее отставание. Если в ближайшие годы мы не увеличим производительность труда наших ученых, не улучшим

208 условия освоения в промышленности достижений науки и техники, то задача догнать Америку, конечно, не может быть решена. Если решительно и умело использовать те большие преимущества, которые дает в организации науки и промышленности наш социалистический строй, тогда это отставание в росте будет только временной заминкой. Я глубоко верю: если мы не будем бояться говорить правду о наших недостатках и ошибках и будем дружно искать пути их устранения, то мы скоро опять наберем в росте нашей научной работы прежние рекордные темпы.

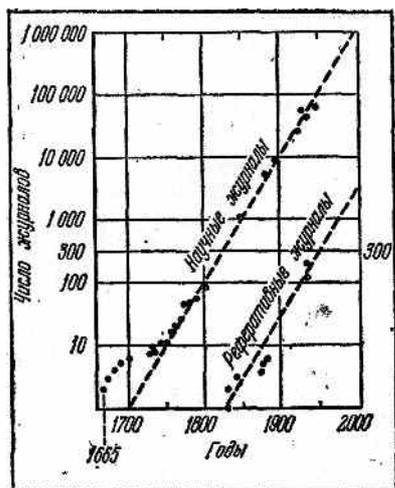
Надо непрерывно и постепенно совершенствовать организационные формы для развития нашей науки: улучшать материальную базу, поднимать качество кадров и увеличивать производительность труда ученого. Ко всем этим вопросам нам, ученым Академии наук СССР, надо отнестись особо серьезно. Мы являемся ведущим научным учреждением в стране, и поэтому мы больше, чем кто-либо другой, отвечаем за развитие науки и освоение ее достижений.

СТОЛЕТИЕ «ЖУРНАЛА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ» И РОЛЬ ЖУРНАЛОВ В РАЗВИТИИ НАУКИ

Доклад на заседании Президиума Академии наук СССР 1973

Историками науки уж отмечалось, что наука стала развиваться в международном масштабе только после появления и распространения книгопечатания в XV—XVI вв. Это легко объясняется тем, что основным фактором, определяющим слаженную коллективную работу ученых, является организация передачи информации. Чем эффективнее она осуществляется, тем в более широком масштабе и интенсивнее развивается наука. До сих пор наиболее эффективным методом научной информации является ее передача через периодически печатающиеся журналы, поскольку таким путем можно наиболее широко и скоро сообщать о научных достижениях заинтересованным в них ученым,

209



Первый в мире научный журнал появился в 1665 г., но их число стало непрерывно расти только с 1750 г., когда в Европе установилась регулярная почтовая связь. На рисунке приведена составленная историком науки Д. Прайсом [1] кривая роста общего числа научных журналов, издаваемых во всех странах. Число научных журналов дано в логарифмическом масштабе; видно, что за последние триста лет их рост неизменно следует экспоненциальному закону.

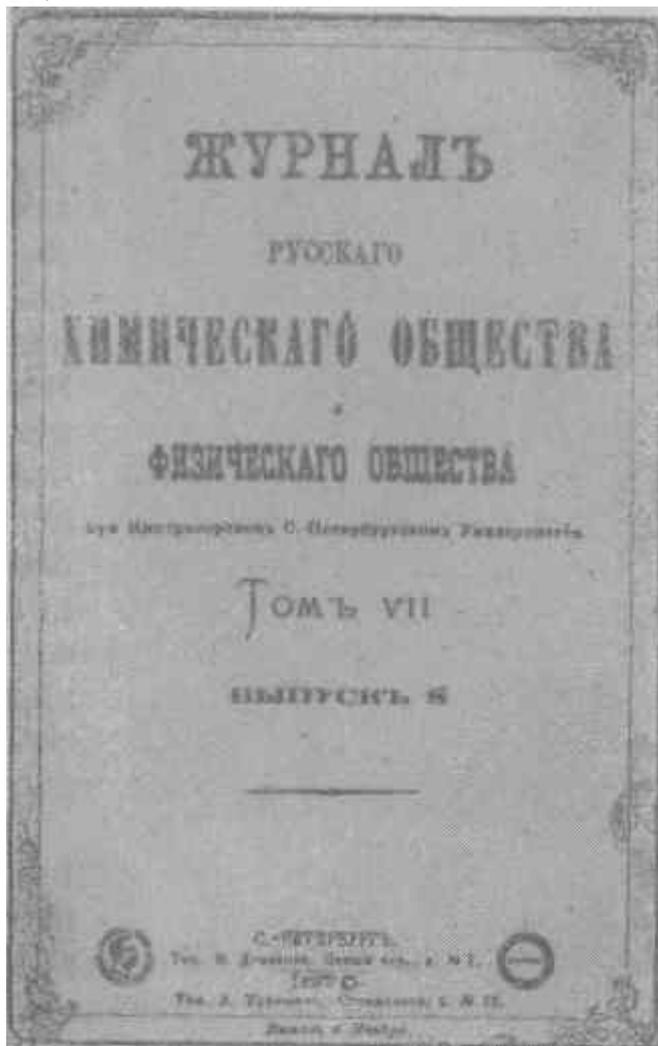
Каждые 10—15 лет число журналов удваивается и сейчас достигло внушительной цифры в 200 000. На рисунке также нанесено число издаваемых реферативных журналов, которые возникли, чтобы облегчить знакомство с

большим количеством научной информации. Они появились уже в 1830 г., и, как видно из рисунка, число их растет параллельно основной кривой и поэтому следует тому же экспоненциальному закону, что и рост числа основных журналов. Реферативных журналов сейчас около 300.

Широко публикуемые сейчас статистические данные показывают, что число научных работников и отпускаемые на научную работу средства тоже растут по тому же экспоненциальному закону, удваиваясь через каждые 10—15 лет. Таким образом, видно, что существует тесная связь между ростом числа научных журналов и масштабами развития научной работы. Это указывает на возможность, изучая численность и характер научных журналов, получить полезные сведения по организации научной работы.

Например, из рисунка видно, что наука развивалась все эти 300 лет равномерно, и скачка, которого можно было бы ожидать и который бы соответствовал происходящей в наше время научно-технической революции,

210



не обнаруживается. Современное интенсивное развитие науки объясняется только тем, что, как известно, всякий процесс, который следует экспоненциальному закону, в конечном итоге всегда приобретает характер взрыва.

Первый научный журнал по физике у нас в стране возник 100 лет тому назад при Русском физическом обществе, его обложка приводится здесь на фотографии. Уже после революции, в 1930г., он перешел в ведение, Академии наук СССР и стал называться, как видно из фото его современной обложки (см. стр. 212), «Журналом экспериментальной и теоретической физики» и до сих пор рассматривается как наш ведущий журнал по физике. Поскольку в журнале за 100 лет отражены основные моменты развития нашей физики, можно изучая помещенный в журнале материал, представить не только картину развития физических наук у нас в стране, но и ее современное состояние.

В юбилейном выпуске журнала помещена специальная статья, написанная Ю. М. Ципенюком [2], в которой по напечатанному в журнале материалу дается картина развития физики за 100 лет. Здесь мы отметим только

некоторые из основных этапов развития физики за этот период у нас в стране, сосредоточив наше внимание на том, как журнал отражает современное состояние физических наук у нас.

Принято считать, что естественные науки начали развиваться в России в начале XVIII в., когда Петром I была основана Академия наук, в которую с самого начала были привлечены такие крупные ученые, как

211



Эйлер, Бернулли. Тогда же в ней вырос и Ломоносов, первый гениальный русский ученый. Но, несмотря на такое блестящее начало физики и химии, после Ломоносова, в конце XVIII и в начале XIX вв., физико-математические науки развивались у нас значительно слабее, чем в Западной Европе. Для эффективного развития этих наук требовались материальная и техническая базы, которых в нашей, тогда еще сугубо сельскохозяйственной, стране не было.

По-настоящему эти науки стали развиваться во второй половине XIX в.,

после крестьянской реформы 1861 г., когда страна стала богаче и начала развивать свою индустрию. Тогда у нас возникла научно-техническая общественность и стали создаваться научные и технические общества. Одним из них было Физическое общество, и как его печатный орган 100 лет тому назад родился наш журнал. Сперва появился журнал Химического общества, и только в 1873 г. при нем возник самостоятельный физический отдел. Инициатором создания Физического общества был Ф. Ф. Петрушевский, а первым редактором журнала — Д. К. Бобылев. Вначале в этом журнале печатались как оригинальные статьи, так и обзорные. Поскольку в те времена основная научная деятельность происходила за границей, то, естественно, наши ученые, желая более активно участвовать в развитии мировой науки, охотнее печатали свои работы в зарубежных журналах на немецком или французском языках. Интересно отметить, что даже в начале этого столетия, когда у нас уже был ряд блестящих физиков, как Н. А. Умов, А. Г. Столетов, П. Н. Лебедев, А. А. Эйхенвальд, Б. Б. Голицын, А. С. Попов, они свои лучшие работы часто сперва печатали за границей,

212

Со временем, по мере роста числа оригинальных работ, обзорные статьи были выделены в приложение, а в 1907 г. физический отдел журнала полностью отделился от химического и стал самостоятельным изданием.

Поучительно проследить, что происходит с журналом в период после Октябрьской революции. Несмотря на гражданскую войну и тяжелые испытания, в стране сразу начала развиваться научная работа во всех областях знания, и в особенности в области естественных наук. Наш журнал стал неизменно получать материальную поддержку от государства, так что он никогда не переставал выходить, и в самые тяжелые, 20-е годы, когда из-за разрухи не было возможности печатать его в Петрограде, он печатался в Германии.

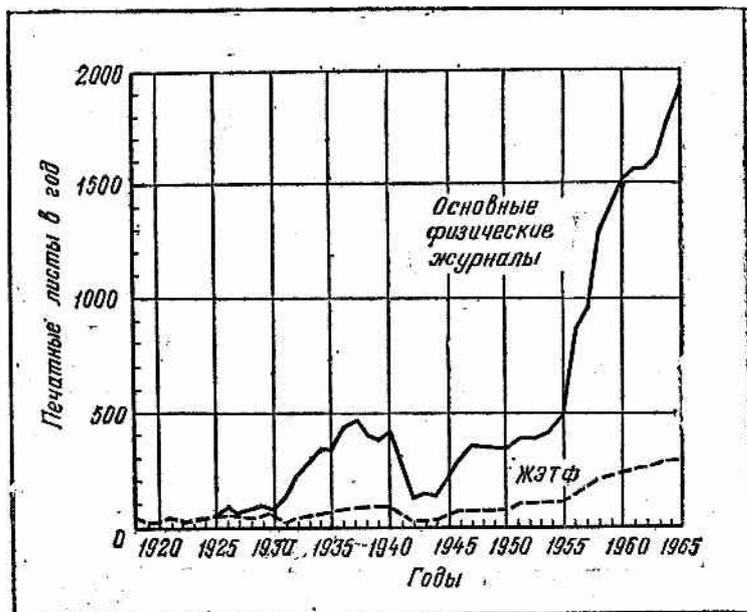
В это время в журнале помещались только оригинальные научные работы. Для обзорных статей в 1918г. был создан особый журнал «Успехи физических наук», который был организован Э. В. [Шпольским](#). Этот журнал неизменно дает высококвалифицированную информацию о важнейших достижениях физики во всех странах.

В 1930 г. Русское физико-химическое общество перестает существовать, и в этом же году его журнал переходит в ведение Академии наук и меняет свое название на «Журнал экспериментальной и теоретической физики» — сокращенно ЖЭТФ. Его редактор и редколлегия назначаются Академией наук на основании выборов.

Главными редакторами журнала после его перехода в Академию оставались А. Ф. Иоффе и Л. И. Мандельштам, с 1939 по 1952 г. редактором был С. И. Вавилов, до 1956 г. — Н. Н. Андреев, затем редактировать журнал было поручено мне.

После установления социалистического строя у нас в стране происходил интенсивный рост естественных наук, и было наверстано прежнее отставание. Это хорошо иллюстрируется материалами, приведенными в уже упоминавшейся работе Д. Прайса, где приводятся данные по числу журнальных публикаций по химии в ряде стран с 1910 по 1960 г. (к сожалению, по другим наукам таких данных нет). Перед Октябрьской революцией наибольшее в процентном отношении число работ по

213



химии принадлежало Германии — 34%, далее США — 20%, доля России составляла только 2%. В 1960 г. картина резко меняется: немецкие журналы — 6%, американские — 28%, советские — 18%.

В эти годы не менее интенсивно развивается и физика, что соответственно сказалось на нашем журнале. Хотя ЖЭТФ и увеличивался в объеме, но он уже не мог вмещать всех научных работ по физике. С 1925 г. в стране стали появляться специализированные журналы по разным областям физической науки. Первым был «Журнал технической физики», потом появились журналы по оптике, механике, кристаллографии и по ряду других специальностей. Сейчас их не менее 25. Практически нет такого крупного раздела физики, который не имел бы у нас своего специализированного журнала. На рисунке пунктирной линией показано, как с 1917 по 1965 г. рос объем ЖЭТФ. Сплошная кривая — объем в листах всех журналов по различным разделам физики (провал на кривой с 1942 г. по 1944 г. — следствие войны). Видно, что с 1925 г. ЖЭТФ перестает быть единственным физическим журналом, и сейчас его объ-

214

ем составляет только 10—15% от всех других журналов.

Естественно, возникает вопрос: нужен ли сейчас общий журнал по физике, когда имеется такое количество специализированных журналов? Жизнь показывает, что для развития науки такой журнал, по-видимому, все же нужен. Это подтверждается не только тем, что он продолжает существовать, но также и тем, что аналогичные журналы по общей тематике существуют за рубежом, например «Physical Review» при Американском физическом обществе, хотя в США тоже существует полный набор специализированных журналов.

Чтобы выяснить, чем оправдано существование ЖЭТФ как общего журнала по физике на нынешнем этапе ее развития, посмотрим, какова сейчас его роль в международной науке. Для этого я приведу некоторые данные из оригинальной работы С. Кинан и П. Эзертон «Журнальная литература по физике», опубликованной в США [3]. Метод, которым пользовались авторы, основан на изучении материалов, опубликованных в самом крупном американском реферативном журнале «Physics Abstracts». За 1961 г. там было напечатано 20287 рефератов, сделанных по статьям, опубликованным в 405 журналах 39 стран. В указанной работе приведены численные

данные распределения этих рефератов по странам, по журналам, по областям физики. Из этого обширного материала, напечатанного на 156 страницах, мы приведем только несколько данных.

Таблица 1

ЧИСЛО ЖУРНАЛОВ И РЕФЕРАТОВ ПО ФИЗИКЕ

	США	СССР	Англия	Япония	Фран- ция	ГДР и ФРГ	Гол- ландия
Число журналов	71	24	62	37	14	47	14
Число рефератов	6316	3317	2729	1560	1268	1240	1043
% ко всему числу рефератов	31,14	16,37	13,45	7,69	6,32	6,11	5,23

В табл. 1 дано число рефератов в процентах к общему числу для следующих стран: США, СССР, Англия, Япония, Франция, ГДР и ФРГ, Голландия (участие других стран значительно меньше). Из этой

таблицы следует, что СССР и США вместе дают 47,5% от всего числа рефератов, что практически составляет половину всех публикаций по физике. При этом следует учесть, что для реферирования использовалось только 24 советских журнала, что меньше их реального числа.

Таблица 2

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ЧИСЛО РЕФЕРАТОВ ПО ОСНОВНЫМ ОБЛАСТЯМ ФИЗИКИ ДЛЯ СССР и США

Поряд- ковый номер	Области физики	% США ко всем рефератам	% СССР ко всем рефератам	СССР по отно- шению к США
0	Для всех областей физики	31,14	16,37	0,53 среднее
1	Электронные свойства твер- дых тел	25,0	29,7	1,19
2	Твердое состояние	25,2	26,1	1,04
3	Оптические свойства твер- дого состояния	32,1	23,4	0,73
4	Электричество и магнетизм	31,2	22,1	0,71
5	Механика	27,6	16,6	0,60
6	Ядерная физика	25,4	13,8	0,54
7	Элементарные частицы	31,8	17,2	0,54
8	Космические лучи	24,9	13,1	0,53
9	Жидкости и газы	29,4	13,4	0,46
10	Акустика	45,1	19,9	0,44
11	Технология и материалы	40,6	16,9	0,42
12	Магнитные свойства твердых тел	33,5	13,1	0,39
13	Теплота и тепловые явления	41,2	15,3	0,37
14	Оптика	35,4	11,9	0,34
15	Математическая физика	27,2	8,8	0,32
16	Общая физика	52,6	10,6	0,20
17	Астрофизика	35,8	7,3	0,20
18	Атомы и молекулы	45,5	8,6	0,19
19	Математика	35,1	6,7	0,19
20	Физическая химия	49,7	6,4	0,13
21	Геофизика	36,5	4,9	0,13
22	Биофизика	66,2	2,9	0,04

Используя данные из этой же работы [3], мы численно сравнили участие США и СССР в журнале «Physics Abstracts» по различным ведущим областям физики. Полученные данные приведены в табл. 2. В третьем и четвертом столбцах приводится процент рефера-

тов от всех помещенных по данным областям физики в «Physics Abstracts», в последнем столбце — отношение числа рефератов из журналов СССР к рефератам из журналов США.

Конечно, все эти данные нужно воспринимать критически, с учетом того, что они сделаны по материалам американского реферативного журнала. При составлении этого журнала работы, напечатанные не на английском языке, поскольку они должны были преодолеть языковой барьер, не так легко в него попадали. При таком формальном методе сравнения не учитывается также качество научных работ. Но даже при этих условиях

очевидно, что, в общем, по физике мы теперь занимаем второе место, а в изучении твердого тела являемся ведущими. Эта методика сравнения выявляет также наше отставание в некоторых областях, например в геофизике и биофизике. Поэтому даже такое формальное изучение журнальной научной литературы дает интересный и полезный материал для организации науки, при ее планировании.

Приведенный в работе С. Кинан и П. Эзертон материал дает также возможность оценить значимость отдельных журналов для развития физики в интернациональном аспекте, поскольку в этой работе приводится число рефератов в «Physics Abstracts» из каждого журнала. Так, из советских журналов на первом месте стоит ЖЭТФ (все статьи, помещенные в нем, реферируются), на втором месте — журнал «Физика твердого тела» и на третьем — «Доклады Академии наук СССР».

Международное значение ЖЭТФ подтверждается еще и тем, что с 1955 г. он полностью переводится на английский язык, так же как теперь и ряд других наших ведущих научных журналов. Вначале эти переводные издания нуждались в дотации Американского национального научного фонда, но с 1964 г. стали самокупаемыми.

За 100 лет существования ЖЭТФ по мере роста и развития физики, конечно, менялось его содержание, хотя он сохраняет свой общий характер. Поэтому естественно поставить вопрос: чтобы быть полезным, какие задачи должен выполнять ЖЭТФ как неспециализированный журнал и каким должно быть его содержание, если у нас по всем областям физики имеются сейчас

217

отдельные журналы, где могла бы быть напечатана любая из статей, публикуемых в ЖЭТФ?

По-видимому, естественный ответ на этот вопрос состоит в том, что в физике, как и в других науках, существуют научные работы, значимость которых распространяется за пределы интересов специалистов в отдельных ее областях. Это могут быть либо открытия новых явлений, либо оригинальные методы исследования, либо широкие теоретические обобщения, охватывающие ряд областей, и т. д. Вот эти работы и должны печататься в общих журналах, как ЖЭТФ и «Physical Review». Поэтому редактирование общего журнала имеет свою специфику, заключающуюся в правильном выборе таких работ.

Естественно, что отбор научных работ возлагает на редколлегия ЖЭТФ большую ответственность, чем в специализированном журнале. Это требует более широкого состава редколлегии, квалифицированного в ряде областей физики. При оценке работ нельзя обойтись без привлечения рецензентов-специалистов. При этом для объективности оценки нужно выработать такую систему, при которой рецензент может быть уверен, что его отзыв сохранит полную конфиденциальность. Практика показывает, что в ряде случаев отзывы рецензентов не могут быть для редакции решающими. Это бывает, например, когда авторы статей сами являются наиболее крупными учеными в данной области. Но все же мнение рецензента и тогда важно, поскольку показывает, как статья воспринимается научной общественностью.

Часто статья может быть весьма ценной, но недостаточно ясно написанной для более широкого круга физиков. общепринято, что любая научная статья должна удовлетворять следующим требованиям: если статья экспериментальная, то в ней должно быть сообщено достаточно данных, чтобы квалифицированный ученый мог воспроизвести приводимые эксперименты; если статья теоретическая, то должны быть четко сформулированы основные положения, на которых зиждется теоретическое построение, и математические выкладки должны быть даны достаточно полно, чтобы квалифицированный теоретик мог их воспроизвести и проверить результаты. Но для ЖЭТФ как журнала, который читается широким кругом ученых, необходимо, чтобы

218

статья отвечала еще одному условию: она должна быть доступна не только специалистам в данной области, но и ученым, работающим в других областях. Обычно это достигается тем, что статья начинается вводной частью, где в более доступной форме дается общее значение поставленных в работе вопросов и полученных результатов. Часто такие требования авторами встречаются недоброжелательно, так как далеко не всегда даже крупный ученый умеет ясно и понятно излагать свои мысли.

Отбор статей производится редколлекцией по указанным признакам. Те статьи, которые не имеют общего значения, приходится отклонять, и их количество достигает 40% от поступающих в редакцию. Число отклоненных статей определяется также необходимостью сохранять объем журнала (сейчас это около 300 печатных листов в год). Таким отбором обеспечивается достаточно короткий срок публикации. Для ЖЭТФ, как и для

аналогичных журналов в других странах, этот срок составляет пять-шесть месяцев. В основном этот срок определяется временем, которое необходимо для рецензирования и редактирования статей. В тех случаях, когда решение редакции расходится с мнением авторитетного руководства научного учреждения, бюро редколлегии особо тщательно обсуждает статьи и принимает окончательное решение. В современных условиях отклоненным ЖЭТФ статьям не закрыт путь в печать, поскольку почти все они могут быть опубликованы в одном из специализированных журналов. Существующее сейчас стремление физиков напечататься в ЖЭТФ связано с тем, что принятие работы этим журналом рассматривается научной общественностью как ее высокая оценка.

Жизнь показала, что при современных темпах научной работы и благодаря тому, что ряд важных проблем физики разрабатывается в интернациональном масштабе, шестимесячный срок публикации является недостаточно коротким. Поэтому, как это было уже сделано в США, мы в 1965 г. организовали публикацию как называемых «Писем в ЖЭТФ», журнала, состоящего из коротких статей в 3—4 странички, напечатанных на ротапинтере. Это небольшие тетради, в 4 печатных листа, они выходят два раза в месяц; срок публикации составляет 1—2 месяца, За год таким путем печатается до 400 статей.

219

Для «Писем» организована специальная редколлегия, которой руководит академик А. С. Боровик-Романов. Чтобы выдержать короткий срок публикации, приходится работать без отзывов рецензентов. При этом, кроме научной ценности статьи, приходится решать вопрос о целесообразности ее срочной публикации. Это издание имеет для ученых также важное приоритетное значение и пользуется большой популярностью. Поэтому статей, поступающих в «Письма», много, и сейчас приходится из них отклонять до 60% .

Тематический анализ напечатанных в ЖЭТФ статей показывает, что наибольшее их число приходится на физику твердого тела — 46%, далее идут статьи по плазме — 21%, по оптике, главным образом по лазерам, — 21%, по ядерной физике — 9%. В физике, как и в других науках, всегда есть области исследований, которые в данный период наиболее интенсивно развиваются. Лет 30 тому назад это была ядерная физика, сейчас это физика твердого тела, плазма и лазеры. Распределение статей в ЖЭТФ соответствует этой тенденции.

Таким образом, есть полное основание считать, что ЖЭТФ в его современной форме, как общий журнал по физике, даже после 100 лет своего существования продолжает быть нужным и содействует развитию нашей науки. Трудно быть уверенным, что это будет иметь место и в дальнейшем, так как многое указывает на наступающий кризис в методах научной информационной службы.

Масштабы научной работы стали настолько велики, что распространение научной информации в основном журналами становится трудным. Согласно кривой рисунка на с. 210, число их непрерывно растет и к 2000 г. превзойдет 1 миллион. Быстро растет и число реферативных журналов, к 2000 г. оно достигнет 3000. Видимо, и этот метод информации себя исчерпывает. Все более и более чувствуется необходимость привлечения к этой задаче новых методов информации, основанных на современной электронной технике, как, например, ЭВМ и телетайп. Далее, очевидно, что с расширением международного научного сотрудничества информация должна осуществляться все более централизованно в мировом масштабе. К этим вопросам надо относиться с

220

большим вниманием, так как несомненно, что хорошо поставленная информация является одним из основных факторов, обеспечивающих успешное и эффективное развитие науки.

ЛИТЕРАТУРА

[1. *Price D.* Little Science, Big Science. — N. Y., 1963. (Перевод: *Прайс Д.* Малая наука, большая наука. — В сб.: Наука о науке. — М.: Прогресс, 1966.)

[2. *Ципенюк Ю. М.* Из истории «Журнала Русского физико-химического общества» — ЖЭТФ.— ЖЭТФ, 1973, т. 64, с. 3.

3. *Keenan S., Atherton P.* The Journal Literature of Physics. — N. Y., 1964.

ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ ОРГАНИЗАЦИИ НАУКИ И ИХ ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ В СССР

Статья в журнале Американской академии искусств и наук «Дедалус»

1973

Наше время называют временем научно-технической революции, этим самым как бы признается, что наука и ее влияние на технический прогресс являются основной двигательной силой современной культуры и цивилизации. Этим объясняется, почему развитие науки, в особенности в развитых странах, является теперь одной из главных забот государства.

Оказалось, что для эффективного развития научной работы в стране нужна специальная организация, которая имеет свой специфический характер, весьма отличный от других организаций. Вопросами, связанными с изучением организации научной работы, теперь широко интересуются в первую очередь сами ученые, так как только они могут правильно понимать и оценивать те организационные мероприятия, которые необходимы для развития научной работы по их специальности. Поэтому во всех странах организация научной работы ведется при непосредственном участии самих ученых. Жизнь показывает, что в тех странах, где ученые более полно вовлекаются в организацию науки, она развивается успешнее.

Организационные мероприятия для развития научной работы можно разделить на три главные группы:

221

1 — подбор и воспитание кадров научных работников;

2 — развитие направлений научных исследований, соответствующих запросам мировой науки и отвечающих культурным и промышленным запросам страны;

3 — обеспечение материальной базы, необходимой для проведения научной работы: научные институты, приборостроение, информация и пр.

Конечно, для различных областей науки эти организационные мероприятия решаются по-разному. Кроме того, на характер организации науки оказывает влияние экономическая и социальная структура страны.

Но есть фактор, который, может быть, наиболее значителен и который одинаково влияет на здоровое развитие науки в любой стране. Это тот факт, что наука едина и все ее достижения в конечном итоге становятся достоянием всего человечества. Интернациональный характер научных достижений не только приводит к сотрудничеству ученых всех стран, вне зависимости от социальной структуры государства. Это приводит к тому, что достижения науки в данной области в стране должны соответствовать международному уровню научной работы.

Подбор и воспитание научных кадров

Из перечисленных вопросов организации науки наиболее важным является первый — подбор и воспитание научных кадров. Жизненный опыт показывает, что именно этот фактор более всех других обеспечивает высокий уровень и эффективность научной работы. К сожалению, пока на него обращают меньше внимания, чем он того заслуживает.

Научная работа относится к той области деятельности человека, которая может успешно развиваться только теми, кто имеет творческие дарования. Общеизвестно, что в искусстве, литературе, музыке может успешно работать только небольшое число людей, обладающих творческими способностями. То же самое относится и к научной работе, тут тоже успешно могут работать только творчески одаренные люди.

Таким образом, для эффективного развития научной работы нужно обеспечить, так же как и в искусстве, отбор творчески одаренных людей. Нетрудно видеть,

222

что здесь этот отбор труднее осуществляется, чем в искусстве, где это делается самой жизнью и оценка не связана с особыми организационными трудностями, так как плохие произведения писателя просто не будут читать, плохого композитора не будут слушать и т. д. Но в области науки оценку творческих достижений человека производить гораздо труднее, хотя она тоже производится общественностью, но это небольшая группа, состоящая из компетентных в данной области ученых. Поэтому для отбора творческих научных кадров приходится создавать специальную организацию, которая бы учитывала оценку специалистов в области научной работы ученого. Отбор научных работников по их творческим дарованиям является одной из самых трудных организационных проблем научной работы.

Успех научной работы в любой области знаний может быть обеспечен только людьми, обладающими творческими способностями, и жизнь показывает, что число таких людей мало. Хотя это число и может быть разным в различных странах, оно составляет лишь небольшую долю населения страны.

Научно-техническая революция ставит требования развертывать возможно шире научную работу, для этого теперь требуется значительное число научных работников. Так как эффективность научной работы определяется правильным подбором людей, обладающих творческим талантом, главная задача при организации научной работы — это правильно использовать наличие в стране творчески одаренных людей.

Поскольку этот человеческий запас ограничен, то надо создать условия, обеспечивающие наиболее полное его использование. Для этого следует, во-первых, уметь создать условия, привлекающие одаренных людей к научной работе, во-вторых, организовать отбор этих людей соответственно характеру их творческих дарований, в-третьих, следует создать специальные условия для воспитания творчески одаренной молодежи, чтобы природные дарования по возможности полноценно развивались.

Во всех развитых странах в области искусства сейчас существуют специальные школы и высшие учебные заведения — академии художеств, консерватории, куда ученики отбираются по возможности с самого молодого возраста, когда только их творческие способности

223

начинают выявляться, и таким образом открывается возможность для их полного развития. Аналогичные широкие возможности для молодежи творческого научного дарования пока еще не созданы, хотя уже сейчас чувствуется необходимость начинать это делать в государственном масштабе.

Поскольку отбор и обучение творческих научных кадров надо считать основным фактором, определяющим эффективность организации научной работы в стране, в данной статье я в основном остановлюсь на нем и опишу, что в этом направлении делается в СССР.

Следует отметить, что вопрос отбора и воспитания научных кадров сравнительно мало зависит от социальной структуры страны, поскольку сейчас в капиталистических странах, так же как и в социалистических, вопросы образования молодежи находятся в руках государства. Поэтому рассматриваемые вопросы имеют общее значение.

Наиболее широко распространенная сейчас во всех странах система отбора и воспитания научных кадров с небольшими вариантами аналогична той, которая существует в Советском Союзе. Будущие научные работники обучаются вкуче со студентами университетов или технических вузов, только по окончании они на основании проявленных способностей начинают отбираться для научной работы и направляются в аспирантуру. Здесь они впервые приступают к научной работе, и только тут они могут начать выявлять свои творческие способности. Кандидатская диссертация и ее защита определяют степень пригодности человека к творческой научной работе. Такая система имеет ряд крупных недостатков.

Главный недостаток заключается в том, что творческие дарования обнаруживаются и начинают развиваться, когда человек уже находится в возрасте 23—25 лет, т. е. когда он уже сформирован, тогда как творческие дарования в области научной работы хотя и выявляются позже, чем в искусстве, но обычно к 18—19 годам, как раз после окончания средней школы, они бывают уже достаточно хорошо выражены (исключение составляет чистая математика, тут, как и в музыке, творческое дарование иногда может выявиться в более раннем возрасте). Таким образом, в продолжение 4—5 лет обучения и как раз в годы, когда мозг наиболее

224

восприимчив, творческим способностям, как правило, не предоставлена возможность развиваться.

Следующий недостаток этой системы заключается в том, что очень небольшое количество высших учебных заведений располагает кадрами профессуры, являющимися также научными работниками, а опыт показывает, что обычный преподаватель не располагает данными, необходимыми для воспитания и оценки научного творческого дарования у студента. Поэтому такая система обучения научных кадров могла быть приемлема в прежние времена, когда требовалось небольшое количество научных работников и мало придавали значения эффективности научной работы. Чаще всего наиболее талантливая молодежь имеет природное тяготение к науке, пробивает себе путь к ней самостоятельно и независимо от рутинного обучения. В связи с происходящим сейчас ростом масштабов научных работ и потребности в большом количестве научных работников назрело время, как это уже давно делается для музыкантов и художников, создания специальных высших учебных заведений для воспитания и обучения научных работников.

Впервые такой вуз был создан в Москве 25 лет тому назад — это Московский физико-технический институт. Он готовит научных работников по физике разных специальностей. В нем сейчас обучается около 3000 сту-

дентов. Он был создан по инициативе группы активно работающих ведущих ученых — физиков, химиков, механиков, математиков и других специалистов, связанных с наиболее интенсивно развивающимися областями науки и техники, определяющими происходящую сейчас научно-техническую революцию.

Я тоже принимал близкое участие в организации этого института и хочу кратко рассказать о тех принципах, на которых он создавался, о тех проблемах, которые возникали перед нами, и каким путем мы решали их. Ввиду общего интереса этих вопросов я останавливаюсь на них несколько подробнее.

Первая и, пожалуй, самая трудная проблема — это отбор поступающей в вуз молодежи. Задача этого отбора молодежи, способной к научной работе, заключается в том, что нужно создать такую систему вступительных экзаменов, при которой по возможности могли бы выявляться творческие дарования человека.

225

Средняя школа ставит своей задачей по установленной программе дать молодежи определенный запас знаний и степень усвоения этих знаний определяет успешность обучения. Школа не развивает и не оценивает творческих способностей школьника, поэтому успешное окончание школы не дает критерия при отборе молодежи для научной работы.

Принятая нами система отбора тоже зиждется, как и всюду, на конкурсных экзаменах, но этим экзаменам придается некоторая специфика, так чтобы поступающий мог проявить свои творческие способности. Придается большое значение подбору самих экзаменаторов. Все они являются научными работниками, преимущественно из способной молодежи, поскольку мы считаем, что правильно оценивать творческие дарования может только активно работающий научный работник. На экзаменах при оценках по основным дисциплинам большое значение придается успешному решению задач по математике и физике. Для каждого из поступающих, получившего по крайней мере удовлетворительную отметку, решающим экзаменационным испытанием является собеседование с группой из двух-трех экзаменаторов. Собеседование имеет целью выявить степень развития поступающего, характер способностей и его склонность к научному мышлению. Собеседование должно носить непринужденный характер, чтобы застенчивость и нервозность не мешали проявиться индивидуальности экзаменуемого. В наше учебное заведение обычно бывает большой конкурс: на 500 мест — в восемь раз больше желающих поступить. Такой высокий конкурс дает большой материал для отбора. Также помогает то, что у творчески одаренной молодежи обычно бывает естественное и врожденное стремление к научно-исследовательской работе и она стремится в наш институт.

Но отбор молодежи, способной к научной работе, не кончается на вступительных экзаменах. Он происходит после двух лет обучения, которое ведется по программе, в основном включающей такие базисные дисциплины, как математика, экспериментальная и теоретическая физика, механика, сопромат, языки и др., при этом больше внимания обращается на занятия в семинарах и практикумах. Мы стараемся, чтобы чтение лекций и обучение этим дисциплинам, а также общая ор-

226

гаиизация преподавания осуществлялись профессорами и преподавателями по совместительству, в то время как основной их работой была бы исследовательская работа в научных институтах. Мы исходим опять же из принципа, что творческое обучение и воспитание научной молодежи могут успешно осуществлять только научные работники.

После двух лет обучения происходит отбор на государственных экзаменах по физике. Основная задача этого экзамена — выявить не количество накопленных студентом знаний, но как он умеет пользоваться приобретенными знаниями. Поэтому экзамен организован необычным образом. Экзамен устный, его особенность в том, что студенту задаются задачи и вопросы, экзаменуемый перед ответом имеет право пользоваться книгами, журналами, записками и даже консультациями. При ответе от студента требуется только четкое понимание данной области физики, нужное для умения пользоваться своими знаниями при решении задач. Задачи не совсем обычного типа: в них задание ставится в более общей форме, и, главное, от студента требуется указать путь решения и дать количественную оценку искомого решения. На экзамене студенту предоставляется возможность ответить на вопрос по его собственному выбору. Таким образом можно выяснить, насколько студент способен самостоятельно интересоваться научными вопросами и насколько глубоко может в них разбираться. •Такой экзамен дает уже более надежный метод отбора молодежи, способной к научной работе. В

последние годы процедура проведения государственных экзаменов несколько изменилась: решение задач выделено в отдельный письменный экзамен.

Обычно примерно 10 % студентов не выдерживают этих испытаний, и тогда им предоставляется право без экзаменов перейти на III курс в любой по их выбору обычный вуз.

Обучение студентов, выдержавших этот экзамен, дальше уже происходит не в учебном институте, а в научно-исследовательских лабораториях, куда они согласно их выбору распределяются небольшими группами. Это специализированные лаборатории, они обычно находятся в крупных научно-исследовательских институтах, которых у нас несколько десятков (мы их называем базовыми). В этих институтах организуют

227

специализированные кафедры, которые и обеспечивают дальнейшее обучение студентов по определенной программе, а также организуют их участие в научно-исследовательской работе. Таким образом, студент только по общеобразовательным предметам (экономика, языки и др.) продолжает заниматься в учебном институте, но по специальным предметам его обучение полностью происходит в базовом институте.

В этих институтах студенты находятся преимущественно в руках молодых ученых, которые ведут с ними семинарские занятия, читают лекции. В институте по одной специальности учится обычно только от 5 до 15 человек студентов, так что между руководителями и студентами налаживаются тесные личные контакты. Кроме этих учебных занятий, студенты начинают принимать участие и в научной работе, сперва как лаборанты, потом им дают более самостоятельную работу. Тут же в научном институте студент сдает экзамены и пишет отчеты о своей лабораторной работе. Обучение студента в институте продолжается три года, оно завершается дипломной работой, которую он при окончании защищает.

К обучению студента проявляют индивидуальный подход. Полный срок обучения установлен в 6 лет, но если студент проявляет большие способности, то по рекомендации руководства исследовательского института, где он работает, он может сделать и защитить свою работу и раньше. Бывали случаи, когда студенты заканчивали свою работу на год или даже на полтора раньше положенного срока.

Студенты, окончившие институт, получают звание инженера-физика и обычно поступают в научно-исследовательский институт на должности, связанные с научной работой. При принятом в институте методе воспитания и обучения студент по окончании высшего учебного заведения не только обучен методике научной работы, но и выявляются естественные склонности его таланта. Это дает возможность студенту после окончания института более правильно выбрать дальнейшую работу.

Для наиболее даровитых из окончивших открывается следующая стадия повышения квалификации в научной работе — стажерство. Обычно базовый институт из работающих в нем студентов после защиты дип-

228

лома отбирает несколько наиболее способных для стажерства. Стажера прикомандировывают на два года в институт, и если он проявит себя как способный научный работник, то он может быть зачислен на постоянную должность или поступить в аспирантуру.

Аспирантура продолжается 3 года, после защиты диссертации аспирант получает звание кандидата наук. Таким образом, отбор и творческое обучение идут непрерывно с научной работой, и наш опыт показывает, что таким образом удается воспитывать в дальнейшем успешно работающих ученых.

За 25 лет существования этого вуза мы внимательно следим за судьбой его воспитанников, и таким образом подтвердилось, что описанная система обучения творчески одаренной молодежи представляет значительные преимущества по сравнению с существующей системой обучения во втузах и университетах.

Интересно указать, что описанная система обучения имеет ряд возможностей для дальнейшего развития.

Жизнь показывает, что творческая одаренность у молодежи может иметь различные направления, некоторые из которых пока не развиваются. Общеизвестно, что в физике имеются два основных направления, соответственно которым у нас обучают физиков-теоретиков и физиков-экспериментаторов. Развитие современной физики показывает, что теперь такое подразделение недостаточно. При больших масштабах современных экспериментов требуется конструировать весьма сложные уникальные установки: ускорители, камеры для наблюдения пробега элементарных частиц, ядерные реакторы, сложную радиоэлектронную аппаратуру, необходимую для космических исследований, сверхпроводящие соленоиды с криостатами и ряд аналогичных уста-

новок. Для успешного их осуществления нужно быть не только физиком, но и инженером, поэтому требуется обучать физиков-конструкторов.

В ближайшем будущем, несомненно, встанет вопрос воспитания и обучения ученых-организаторов, нужных для руководства коллективами научных работников. Решение целого ряда важнейших современных научных проблем связано с ведением опытов большими коллективами научных работников. Успех такой научной работы возможен только тогда, когда она обеспечивается талантливым руководителем. Он должен быть не только

229

хорошим ученым, но и одарен специальным творческим талантом для руководства коллективом, аналогичным тому, который в промышленности требуется от менеджера.

Творческое дарование, необходимое для руководителей научных коллективов, напоминает также роль режиссера в современных кинокартинах. В современных фильмах необходимо подобрать и согласовать игру большого числа актеров. Это делает режиссер, организаторский талант которого и обеспечивает успех кинокартины. Творческий талант этих режиссеров сейчас признается не меньше, чем талант лучших киноактеров.

В ряде крупных коллективных научных изысканий (как, например, изыскания в космосе) их руководитель, ученый-организатор, играет ведущую роль и обеспечивает успех работы. Пока еще недостаточно признается роль руководителя научных организаций и коллективов и обычно успех научного достижения несправедливо приписывается только отдельным научным работникам. В будущем, конечно, это должно измениться. Деятельность руководителя и организатора научных работ не только следует высоко ценить, но их придется отбирать из ученых и специально обучать научному менеджменту, и это должно стать одной из важных задач организации науки.

Непрерывно происходящее развитие научно-технической революции сопряжено с ростом масштабов научной работы. Статистические данные показывают, что сейчас в организациях, связанных с научной работой, в СССР так же, как и в США, число работников близко к миллиону и это число непрерывно растет. Поскольку эффективность научной работы в первую очередь определяется творческими способностями участвующих в ней научных работников, а количество творчески способной к научной работе подрастающей молодежи в стране ограничено и составляет лишь небольшую долю всего населения, поэтому одна из самых важных задач в организации науки — это привлечь по возможности всю наиболее способную молодежь к научной деятельности. Для этого нужно сделать положение научного работника в стране достаточно привлекательным, его надо не только хорошо материально обеспечивать, но, главное, обеспечить его высокое и уважаемое положение в обществе. В той или иной мере это сейчас уже имеет место во всех развитых странах.

£30

Задача, над решением которой надо еще работать,— это совершенствование отбора творчески способной молодежи. В нашем институте, как было описано, мы ее решаем путем специальных экзаменов-собеседований. Но эта система еще недостаточно надежна и навряд ли она даст возможность отбирать всю наиболее талантливую часть творчески одаренной молодежи в стране.

Улучшить эту систему можно, если удастся перенести этот отбор уже в последние классы средней школы. Трудность осуществления этого состоит в том, что профессиональный преподавательский состав обычной школы не приспособлен для творческого воспитания молодежи. Поэтому оказывать влияние на творческое воспитание молодежи в школе представляется возможным, только организуя его извне. Пока один из лучших способов — это организация так называемых «олимпиад» для учеников старших классов. Это состязания по решению задач по математике и физике, постройке приборов, астрономические наблюдения и другие формы проявления интереса школьников к научно-техническому творчеству, которые охватывают по возможности большее число школьников. Организует эти олимпиады группа научных работников. Эти олимпиады не только способствуют выявлению наиболее талантливой, творчески способной молодежи, но и прививают с юности любовь и интерес к творческим решениям научных проблем. У нас (так же как и в США) такие олимпиады уже широко развились, и это надо приветствовать.

Так же хорошо влияют на развитие творческих интересов к научным проблемам кружки по разным дисциплинам, которые сейчас организуются для школьников старших классов при университетах и высших учебных

заведениях. Поскольку эти кружки обычно ведутся молодыми учеными, то школьник знакомится с творческим научным процессом. Но, конечно, такие кружки охватывают небольшое число школьников, так как они могут существовать только в городах, где имеются высшие учебные заведения.

Наконец, сейчас обсуждается проект привлечения к преподаванию в старших классах средних школ, по совместительству, молодых ученых, главным образом аспирантов. Предполагается даже сделать для аспирантов обязательным участие в преподавании в средней школе таких наук, как физика, математика, биология, химия.

231

-Такое участие молодых ученых в преподавании не только будет развивать у молодежи их природные творческие дарования, но также даст возможность уже в средней школе выявлять наиболее талантливых школьников, способных к научной работе. По-видимому, эта система будет полезна не только школьникам, но также и самим аспирантам, поскольку, объясняя молодежи основные закономерности в науке, чтобы их теоретически и экспериментально обосновать, требуется самим их хорошо понимать. Хорошо известно, что обучение других неизменно связано с самообучением, поскольку это является также лучшим контролем собственного уровня знаний.

Выбор тематики исследований

Теперь я перейду к рассмотрению второго и третьего вопросов организации науки, указанных в начале статьи. Поскольку способ решения этих вопросов в значительной степени установлен и известен, рассмотрим их кратко.

Второй фактор организации науки состоит в выборе научной тематики, соответствующей основным направлениям мировой науки и культурным запросам страны. Организация, которая это осуществляет, должна уметь оценивать значение научной тематики, определять качество научных работников и оценивать достигнутые научные результаты.

Очевидно, что такая организационная деятельность может эффективно осуществляться только коллективом, состоящим из самих ученых, как это действительно всюду и имеет место. Эта деятельность находится в руках таких организаций, как академии наук, научные общества, ученые советы и другие аналогичные общественные коллективы. Принцип, на котором работают эти организации, повсюду один и тот же — демократический. Мнение научного коллектива после обсуждения определяется путем голосования.

При решении вопросов, связанных с научным творчеством, такая система общепризнанна и, по-видимому, является единственно правильной. Особо эффективной она оказывается при оценке квалификации научных работников. Поэтому все крупные должности в научных учреждениях занимают по выборам тайным голосованием. Только уже дальнейшее распределение рядовых

232

научных работников ведется по принципу единоначалия. Интересно отметить, что в странах с социалистическим строем, по сравнению с капиталистическими, такая система становится более централизованной. Например, в СССР Академия наук является центральной организацией с очень широкими полномочиями. В ее функции входит назначение, путем тайных выборов, директоров и ведущих научных работников во всех главных научных учреждениях страны. Присуждение научных степеней кандидата и доктора наук хотя и производится после защиты диссертации советами научных учреждений, но строго контролируется единой для всего Советского Союза специальной Высшей аттестационной комиссией. Эта комиссия состоит из ученых и решает вопрос также путем голосования.

Выбор научной тематики в социалистическом государстве до некоторой степени также находится под централизованным общественным контролем. Так, Академия наук путем утверждения планов направляет научную работу во всех своих институтах, которые преимущественно заняты проблемами «чистой» науки. Проблематика, связанная с решением задач в области техники, сельского хозяйства, промышленных производств и т. п., сосредоточена в институтах различных промышленных министерств и в Государственном комитете по науке и технике. При этих учреждениях существуют свои научные советы, которые, тоже на демократических принципах, руководят своими научными учреждениями.

Таким образом, в социалистическом государстве все эти организационные вопросы научной тематики и подбора кадров значительно более централизованы, чем это имеет место при капиталистической организации промышленности, где эти же вопросы решаются руководящими органами в интересах крупных концернов.

Централизм, присущий социалистическому строю, имеет ряд крупных преимуществ, как, например, возможность контроля в масштабе страны над вредным параллелизмом в научных работах, использование научных достижений сразу в государственном масштабе, возможность решения важных научных проблем включением большого числа научных учреждений, находящихся в различных министерствах, и пр. Но централизм таит в себе и слабые стороны. Время релаксации для осуществления мероприятия становится длинным, также

233

такая организация подвержена бюрократическому застою. С этим, конечно, можно бороться. Наиболее действенные средства борьбы — это осуществление общественного контроля и критика.

Оценка значимости научных достижений всегда и всюду осуществляется путем обсуждения научных статей и докладов на широких собраниях ученых: не только на советах научных учреждений, но более широко — на съездах, конгрессах, симпозиумах и др. Оценка достижений, которые являются вкладом в мировую науку, происходит на таких международных собраниях ученых, как конгрессы, съезды и пр., и обычно эти оценки являются наиболее объективными и оказывают большое влияние на руководящие организации.

Конечно, хорошая организация научной информации путем журналов, корреспонденции и, главное, личного общения ученых и посещения научных лабораторий является одним из самых могучих средств, обеспечивающих правильную оценку направления и успешность в развитии научной работы в правильном направлении.

Таким образом, международное сотрудничество ученых и научных коллективов во всех странах, где ведется научная работа, всегда было и всегда будет наиболее эффективной системой общественного руководства научной работой, которая всегда обеспечивает ей мировой уровень.

Существует мнение, что освоение практикой научных достижений является критерием развития связанной с ними научной работы. Я думаю, что это оправдано только в отдельных случаях. Это связано с тем, что процесс освоения промышленностью в особенности крупных достижений в науке происходит с таким запозданием, что его влияние на уже ведущиеся работы не может быть действенным. Часто за время освоения ученый или коллектив уже меняют свою тематику,

Материальная база научной работы

Третий фактор организации науки — это создание материальной базы для научной работы; в нее входят: оплата ученых и обслуживающего персонала, постройка институтов, снабжение приборами, организация информации и все прочее, что связано с затратами денежных

234

средств. Как известно, в социалистических государствах средства планируются централизованно. В капиталистических — средства поступают как от государства, так и из частных источников. В обоих случаях ставится вопрос: сколько же средств в общей сумме следует отпускать на всю науку?

Из публикуемых данных известно, что в СССР и США и в ряде других развитых стран расходуется на всевозможные научные работы и изыскания примерно 3 % валового государственного дохода. Надежного способа определить правильность этой суммы пока еще нет.

Несомненно, сейчас можно считать установленным, что увеличение отпускаемых средств ведет к увеличению количества научных работников, но известно, что при этом эффективность затрат на научную работу начинает падать. Существует даже высказывание, что эффективность научной работы исследовательских институтов пропорциональна логарифму числа научных работников. Это объясняется тем, что сперва к научной работе привлекались наиболее талантливые, но поскольку количество творчески одаренных людей ограничено, то ограничено и число научных работников, которые могут эффективно работать. Я думаю, что масштаб достижений научной работы в стране в основном определяется количеством творчески одаренных людей, принимающих участие в научной работе.

Чтобы научный работник хорошо работал, нужно на него тратить в среднем определенную сумму (например, для физиков эта сумма около 30 тысяч долларов в год). Поэтому, если число способных научных работников ограничено и на каждого из них тратится определенная сумма, то можно определить и те средства, которые страна может производительно тратить на науку. Вполне возможно, что эти 3 % и соответствуют этой сумме затрат. Если путем улучшения отбора и воспитания творческих дарований молодежи будет со временем увеличиваться число людей, пригодных для научной работы, то процент этих затрат тоже следует увеличить.

Эти вопросы можно было бы надежно решить, если бы существовал метод определения эффективности научных работ, аналогичный тому, который существует для определения эффективности производства. Тогда прямая сумма средств, затрачиваемых на научную

235

работу, получилась бы просто решением арифметической задачи.

Попытки таких исчислений неоднократно уже делались, когда научная работа имела тесную связь с решением практических задач в промышленности. Но даже в этих случаях проводимый расчет всегда имел малоубедительный характер.

Определить количественно эффективность работы научного учреждения, казалось бы, можно было бы так. Научная работа есть творческое искание, поэтому перед тем, как удастся найти решение поставленной задачи, приходится делать ряд попыток, которые не дают решения задачи. Отношение числа научных изысканий, давших решение поставленной задачи, к числу всех попыток, включая сделанные зря, и может рассматриваться как коэффициент эффективности научного изыскания. Поскольку при решении трудных больших проблем этот коэффициент будет неизбежно всегда мал, то он сам по себе не может количественно характеризовать деятельность научного коллектива. Только когда он неизменно равен нулю, то научное учреждение следует закрывать. Я сомневаюсь, что в области научного творчества, как и в области творчества в искусстве, можно будет найти способ количественной оценки достигнутых результатов. Мы даже не можем решать более простые задачи, количественно сравнивать научные достижения отдельных больших ученых, хорошо известные и признанные. Как, например, сравнить достижения Ньютона и Эйнштейна? Это так же невозможно, как количественно сравнить произведения двух великих художников, например Рембрандта и Пикассо.

Но все же общее изучение процессов научного творчества и оценка значимости научных достижений, как это сейчас часто пытаются делать, могут быть весьма полезны для вопросов, связанных с организацией науки. Это изучение, несомненно, покажет, что главный фактор, который обеспечивает эффективность развития науки во всех областях знания,— это привлечение к этой работе наиболее творчески одаренной молодежи и умение ее правильно отобрать и воспитать.

**) Доклад был прочитан 25 лет назад, когда обсуждался вопрос о реорганизации Академии наук СССР. Он может быть интересен современному читателю, так как свидетельствует о том, какие изменения произошли с тех пор как в научной, так и в организационной деятельности нашей Академии. Эти годы, например, были отмечены такими достижениями нашей науки, как запуск первого искусственного спутника Земли и полет Гагарина в космос.*

**) Э. В. Шпольский скончался 21 августа 1975 г., оставаясь до конца своих дней главным редактором УФН.*

ФИЗИЧЕСКИЙ ОПЫТ В ШКОЛЕ

Из отзыва о выставке

«Юные техники — в помощь школе»

1940

Школьник понимает физический опыт только тогда хорошо, когда он его делает сам. Но еще лучше он понимает его, если он сам делает прибор для эксперимента. Поэтому привлечение школьников к изготовлению приборов надо всячески приветствовать.

В связи с этим мне хотелось бы отметить, что с физическими демонстрациями у нас в средней школе дело обстоит неблагоприятно. Есть определенные установившиеся, типы демонстрационных приборов, описанные в курсах физики еще во времена Краевича и воспроизводимые по сей день. Между тем надо стремиться показать физическое явление так, чтобы оно не было оторвано от жизни. Это позволит сделать для ученика очевидной связь между теорией и практикой еще на школьной скамье и будет способствовать уничтожению самой большой болезни нашей учебы—ее абстрактности, когда знание существует само по себе, а жизнь идет сама по себе. Многие достижения физики были выведены из наблюдений над жизнью. Знаменитая легенда об Ар-

химеде, обнаружившем закон плавания тел в то время, как он принимал ванну, гораздо больше, чем анекдот. Это одна из самых простых и ясных иллюстраций того, как, наблюдая природу, можно подметить основные законы гидростатики. На примерах машин, вошедших уже в обиход, как автомобиль, трактор, радио, телефон и пр., можно с успехом демонстрировать законы физики. Например, на модели современного спидометра для автомобиля можно показать законы индукции токов не менее наглядно, чем на диске Араго. В подборе таких демонстраций для показа учащемуся того или иного

237

физического явления преподаватель может проявить много творчества и изобретательности.

При конструировании приборов надо, как мне кажется, обратить внимание на выявление творческих способностей детей и давать им максимальную возможность проявить свои изобретательские склонности, хотя бы и в мелочах. Гораздо лучше прибор, который построен кустарно, самыми простыми средствами, но остроумно и самостоятельно, чем точная и аккуратная копия из курса физики, сделанная тем же учеником.

ФИЗИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ

Из книги «Физические задачи» 1972

Напечатанные в этом сборнике задачи были составлены мной для студентов Московского физико-технического института, когда в 1947—1949 гг. я там читал курс общей физики. В этот сборник вошли также задачи, которые давались на экзаменах при поступлении в аспирантуру Института физических проблем Академии наук СССР. Эти задачи собрали вместе и подготовили к печати студенты физтеха, недавно окончившие институт, И. Ш. Слободецкий и Л. Г. Асламазов.

При составлении этих задач я преследовал определенную цель, поэтому они были составлены не обычным образом. Чтобы их решение для читателя представляло интерес, следует сделать некоторые разъяснения.

Хорошо известно, какое большое значение имеет решение задач при изучении точных наук, таких, как математика, механика, физика и др. Решение задач дает возможность не только самому студенту применить свои знания к решению практических проблем, но и для преподавателя задачи являются одним из наиболее эффективных способов проверить, насколько глубоко понимает студент предмет, не являются ли его знания только накоплением заученного наизусть. Кроме того, при обучении молодежи с помощью решения задач можно еще воспитывать и выявлять творческое научное мышление. Необходимость в этом вызвана тем, что Физико-технический институт, который был организован 25 лет назад, был специально создан как высшее учебное заведение для отбора и воспитания работников для

238

научных институтов. Хорошо известно, что для плодотворной научной работы требуется не только знание и понимание, но, главное, еще самостоятельное аналитическое и творческое мышление. Как одно из эффективных средств воспитания, выявления и оценки этих качеств при обучении молодежи и были составлены эти задачи.

Я стремился осуществить эту цель, составляя большинство задач таким образом, что они являются постановкой небольших проблем, а студент должен на основании известных физических законов проанализировать и количественно описать заданное явление природы. Эти явления природы выбраны так, чтобы они имели либо научный, либо практический интерес, и при этом нами учитывалось, что уровень знаний студентов должен быть достаточным, чтобы выполнить задание.

Обычно задачи ставятся так, чтобы подходов к их решению было несколько, с тем чтобы и в выборе решения могла проявиться индивидуальность студента. Например, задачу о траектории полета самолета, при которой в кабине была бы невесомость, можно решить стандартным способом, написав уравнение движения самолета в поле тяжести Земли и приравняв нулю равнодействующую сил, действующих на точку, находящуюся в самолете. Другой способ решения более прост: принять, что если самолет следует траектории свободно летящего тела, которая в земном поле близка к параболе, тогда тело, находящееся в самолете, может быть в состоянии невесомости. Более любознательный студент может углубить вопрос и выяснить, что требуется при полете самолета для того, чтобы во всех точках кабины самолета было одновременно состояние невесомости. Далее можно разобрать вопрос, какие навигационные приборы нужны, чтобы пилот мог вести самолет по нужной для осуществления невесомости траектории, и т. п.

Характерной чертой наших задач является то, что они не имеют определенного законченного ответа, поскольку студент может по мере своих склонностей и способностей неограниченно углубиться в изучение поставленного вопроса.

Ответы студента дают возможность оценить склонность и характер его научного мышления, что особо важно при отборе в аспирантуру. Самостоятельное ре-

239

шение такого рода задач дает студенту тренировку в научном мышлении и вырабатывает в нем любовь к научным проблемам.

Кроме проблемного характера этих задач, в большинстве из них есть еще одна особенность: в них не заданы численные величины физических констант и параметров, и их предоставляется выбрать самим решающим. Так, например, в той же задаче о невесомости в самолете требуется определить время, в продолжение которого она может осуществляться, и при этом говорится, что выбирается современный самолет. Потолок полета этого самолета и его предельную скорость предоставляется выбрать самому студенту. Это мы делаем потому, что практика преподавания показывает, что обычно у нас мало заботятся о том, чтобы ученый и инженер в процессе своего учения научились конкретно представлять себе масштабы тех физических величин, с которыми им приходится оперировать: тока, скорости, напряжения, прочности, температуры и пр.

При решении научных проблем ученому всегда приходится в своем воображении ясно представлять величину и относительную значимость тех физических параметров, которые служат для описания изучаемого явления. Это необходимо, чтобы уметь выбирать те из них, которые являются решающими при опытном изучении данного явления природы. Поэтому надо приучать смолоду ученых, чтобы символы в формулах, определяющие физические величины, всегда представляли для них конкретные количественные значения. Для физика, в отличие от математика, как параметры, так и переменные величины в математическом уравнении должны являться конкретными количествами. В наших задачах мы к этому приучаем студентов тем, что они сами должны в литературе отыскивать нужные для решения величины.

Студенты физтеха с интересом относятся к этим задачам и часто подвергали их совместному обсуждению. Когда эти задачи давались нами на экзаменах, то необходимым условием для решения была полная свобода в пользовании литературой. Обычно на экзаменах давалось несколько задач (до 5), так чтобы предоставить экзаменуемому по своему вкусу выбрать 2—3 из них. По выбору задач тоже можно было судить о склонностях студента. Для аспирантских экзаменов составля-

240

лись новые и более сложные задачи, но здесь разрешалось экзаменуемому пользоваться не только литературой, но и консультацией. Умению пользоваться консультацией ученому так же необходимо научиться, как и умению пользоваться литературой. При научной работе советы и беседы с товарищами и руководителями необходимы для успеха работы, и к этому надо приучать с самого начала обучения.

На решение каждой из задач мы обычно давали около часа. Задачи должны быть решены в письменном виде, но способности и характер студента в основном выявляются при устном обсуждении написанного текста. Чем ярче способности молодого ученого, тем скорее можно их выявить. Обычно обсуждение всех этих задач не брало у нас больше часа.

Сейчас общепризнанно громадное значение науки для развития культуры и хозяйства в современном государстве. Количество ученых и научных работников у нас в стране неуклонно увеличивается и уже сейчас превышает полмиллиона. Поэтому воспитание и обучение молодых ученых теперь являются большой и самостоятельной государственной задачей.

У нас в стране, кроме Московского физико-технического института, имеется еще несколько высших учебных заведений, которые ставят перед собой задачу воспитания научных кадров. Несомненно, преподавание в таких вузах имеет свою специфику, и оно отличается от преподавания в вузах, которые готовят кадры для нашей промышленности и народного хозяйства. Мне думается, что при выработке методов преподавания решение задач-проблем, подобных собранным в этой книге, может быть широко использовано при преподавании не только физики, но и других областей точных наук: математики, механики, химии и др. Перед тем как решить крупную научную проблему, ученым надо уметь ее решать в малых формах. Поэтому решение задач, аналогичных приведенным в этом сборнике, является хорошей подготовкой для будущих научных работников.

1. По какой траектории должен лететь современный самолет для того, чтобы можно было воспроизвести невесомость? Как долго можно воспроизводить невесомость?

241

2. У автомобиля, участвующего в гонке, лопаается шина. С какой скоростью должен ехать автомобиль, чтобы шина не сминалась?

3. Во сколько раз можно увеличить высоту прыжка акробата однократным применением трамплина?

4. Эквилибрист весом P стоит на шаре радиусом R и массой M . Шар находится на горизонтальной плоскости и катится по ней без скольжения. Проанализируйте, как должен эквилибрист переступать по шару, чтобы катиться, и как связан коэффициент трения подошв эквилибриста с ускорением качения.

5. Объясните, почему человек может бежать по очень тонкому льду и не может стоять на нем, не проваливаясь?

6. Оцените порядок скорости, с которой человек должен бежать по воде, чтобы не тонуть.

7. Космический корабль летит от Земли к Марсу. Половина поверхности корабля зачернена и полностью поглощает излучение от Солнца, другая половина, полированная, металлическая, полностью отражает излучение от Солнца. Изучить, как будет влиять световое давление на поступательное и вращательное движение корабля. Количественно оценить величину эффекта для корабля-шара весом 5 т и диаметром 300 см.

8. Определить искажение поверхности жидкости, производимое силой тяготения шара. Разобрать возможность экспериментального наблюдения этого эффекта для определения постоянной тяготения.

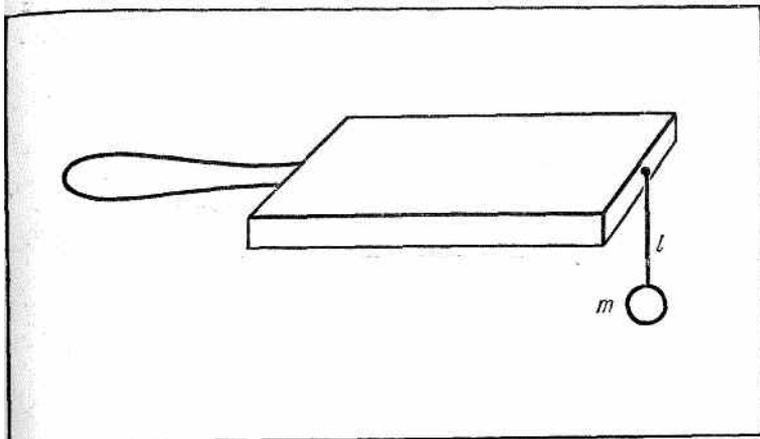
9. Объясните, почему, когда камень или капля дождя падают в воду, брызги летят вверх. От чего больше зависит высота полета брызг: от размеров камня или от скорости его падения? Какова максимальная высота полета брызг?

10. Почему жидкий азот можно лить на руку, не боясь «ожога»?

11. Определите предел радиуса слышимости разговора на открытом воздухе.

12. В прежние времена у сторожей, чтобы злоумышленники знали, что они не спят, были колотушки, которые состояли из дощечки, на одном конце которой была рукоятка, на другом на бечевке длиной l висел шарик массой m (см. рисунок). Определить, при каком движении рукоятки колотушки шарик будет стучать с периодом T .

242



13. Объясните, почему бывали случаи, когда во время выстрела из артиллерийского орудия целиком отлетал передний конец дула.

14. Какие движения должен совершать человек, чтобы вертеть на туловище обруч?

15. Перечислите факторы, которые сказываются на точности хода карманных часов. Оцените относительные значения этих факторов.

16. Поверхность реки образует наклонную плоскость. Может ли тело свободно плыть по реке со скоростью, превышающей максимальную скорость течения?

17. Самолет летит со скоростью, близкой к звуковой; благодаря трению о воздух фюзеляж нагревается. Оценить предельно возможную температуру нагревания поверхности самолета.

18. Изолированный медный шарик заданного радиуса, покрытый известным количеством полония, помещен в вакуум. Благодаря вылету α -частиц он приобретает заряд. Определить нарастание потенциала со временем и его предельное значение.

19. Почему для получения больших мощностей на практике пользуются электромагнитными, а не электрофорными машинами?

20. Через тонкую проволочку диаметром d пропускают импульс тока силой I . Через время t проволочка разрушится. Вычислить магнитное поле и оценить,

243

какое наибольшее магнитное поле можно получить таким образом и чему равно время его существования.

21. Громоотвод соединен с землей через круглую медную трубку диаметром 2 см и толщиной стенки 2 мм. После удара молнии трубка превратилась в круглый стержень. Объясните это явление и оцените силу тока грозового разряда.

22. Разберите, чем точнее можно мерить магнитное поле: баллистическим гальванометром или флюксметром?

23. Почему при разрыве тока в первичной цепи трансформатора во вторичной не получается перенапряжения, в то время как в индукционной спирали оно возникает?

24. Предлагается магнитная пушка, работающая по следующему принципу. Недалеко от соленоида, по его оси, помещается цилиндр (снаряд). Внезапно по соленоиду пускают ток. Когда, втягиваясь, цилиндр достигает середины соленоида, ток автоматически выключается. Оцените практически осуществимую в такой пушке начальную скорость снаряда. Оцените необходимую мощность генератора.

25. Опишите отражение белого света от боковой стороны мыльного пузыря в зависимости от его размеров и толщины пленки.

НЕКОТОРЫЕ ПРИНЦИПЫ ТВОРЧЕСКОГО ВОСПИТАНИЯ И ОБРАЗОВАНИЯ СОВРЕМЕННОЙ МОЛОДЕЖИ

*Доклад на Международном конгрессе
по вопросам подготовки преподавателей физики
для средней школы*

1970

Общепризнанно, что достижения науки влияют на общий уровень культурной жизни людей, но в XX в. эти достижения столь значительны, что их применение стало влиять в глобальном масштабе на структуру общества. Этот процесс, называемый научно-технической революцией, приводит к тому, что сейчас нельзя рассматривать проблему обучения молодежи в отрыве от тех

244

социальных изменений, которые вызваны научно-технической революцией.

Я остановлюсь только на двух явлениях, порожденных современной научно-технической революцией, которые, по-моему, вызывают наиболее кардинальные изменения в организации образования молодежи.

Хорошо известно, что наиболее значительным следствием использования достижений науки и техники в промышленности является высокая производительность труда. Главным образом это происходит оттого, что физический труд человека заменяется работой, производимой двигателями, что стало все в большей степени возможным благодаря широкому использованию электроэнергии. При этом все больше используется автоматика, а работа рабочего стала сводиться к кнопочному управлению двигателями, кранами и пр. Благодаря этому в развитых странах производительность труда человека по сравнению с прошлым веком увеличилась в несколько раз и достигла сейчас как в сельском хозяйстве, так и в промышленности очень высоких показателей.

Если в прошлом веке обычно 80—90% населения жило в деревне и производило продовольственных продуктов в количестве только достаточном, чтобы прокормить себя и городское население своей страны, то сейчас в ряде стран не более 10% населения живет на земле и с избытком удовлетворяет продовольственные потребности страны. Исключительно высокий уровень производительности труда, достигнутый теперь в промышленности, виден на следующем примере. Если разделить число автомобилей, изготавливаемых на крупном современном

предприятия, на число занятых на нем людей, то окажется, что каждый из них производит более одной машины в месяц.

Экономисты считают, что при современной производительности труда достаточно примерно трети или четверти трудового контингента промышленно развитой страны, чтобы вдоволь обеспечить население всем необходимым для жизни: едой, одеждой, жильем, средствами передвижения и пр. Если сейчас в промышленности занято больше народу, то это в основном связано с оборонной промышленностью, экономической помощью менее развитым странам, научными исследованиями, обслуживанием населения, туризмом, радио, телевидением, кино, спортом, прессой и пр. В этих областях число

245

занятых сейчас людей ничем не ограничивается и, по-видимому, определяется числом свободных рук.

Такая высокая по сравнению с прошлым столетием производительность труда и связанная с ней меньшая нагрузка рабочего населения дают возможность в наше время значительно поднять продолжительность обучения молодежи.

В прошлом веке, например, в Англии, наиболее промышленно развитой тогда стране, только наиболее состоятельная небольшая часть населения могла позволить юноше посвятить свою молодость до 20—23 лет образованию. Большинство уже с 14 лет работало в промышленности или в сельском хозяйстве. Такой могла быть и судьба Фарадея, который в 14 лет был подмастерьем в переплетной мастерской. Рабочий день тогда часто доходил до 12—14 часов.

Сейчас нет никаких экономических причин, которые могли бы помешать промышленно развитой стране дать всей своей молодежи не только законченное среднее образование до 16—18 лет, но и высшее — до 20—23-летнего возраста.

Тот высокий рост численности студентов, который наблюдается сегодня в высокоразвитых странах, конечно, оказался возможным в значительной степени благодаря высокой производительности труда. За последние 10 лет число учащихся в высших учебных заведениях в этих странах удвоилось. Экстраполируя этот рост, мы приходим к выводу, что не исключена возможность, что через несколько десятилетий высшее образование станет в этих странах всеобщим. Это, конечно, повлияет на организацию всего образования и в первую очередь на среднюю школу.

Происходящий сейчас рост общественного богатства за счет высокой производительности труда и развитие производства для массового потребления приводят к необычному росту дохода на душу населения. Благополучие населения неизменно растет. Если в некоторых странах и наблюдается безработица и бедность, то это надо отнести за счет несовершенства социальной структуры и не связывать с экономическими возможностями страны.

Рост благосостояния населения ставит новую социальную проблему. Это проблема досуга. Она сейчас широко обсуждается, но пока общепризнанного решения

246

не имеет, хотя несомненно, что эта проблема тесно связана с вопросами образования и воспитания молодежи.

Схематически эту проблему можно сформулировать так: сейчас средняя занятость человека на работе в сутки близка к 7—8 часам. Если положить, что на сон он тратит часов 7—8, часа два на еду, транспорт и пр., следовательно, у человека в день на досуг остается около 7 часов. Для отдыха по-прежнему остается воскресный день. Но время досуга будет продолжать расти, поскольку неуклонно растет производительность труда. Например, сейчас рост происходит за счет использования электронно-счетных решающих устройств. Ряд социологов-экономистов предвидит тут новый революционный рост производительности труда как на производстве, так и в области обслуживания.

Поскольку занятость у людей будет продолжать уменьшаться, то скоро время досуга у людей станет больше рабочего времени.

Социальная проблема, которая уже поставлена,— это обеспечить человеку условия для рационального использования досуга.

На значимость этой проблемы в яркой форме обратил внимание Олдос Хаксли. Тот, кто читал его книгу «Прекрасный новый мир» [1], помнит, что для населения «Прекрасного мира» проблема досуга решалась занятием спортом, различными примитивными зрелищными развлечениями и сексом, при этом считалось, что

широко должны быть использованы наркотики. Главная задача, которую, согласно книге Хаксли, ставили перед собой руководители «Прекрасного мира», заключалась в том, чтобы у трудящихся не появилось интереса к социальным проблемам. Для этого с самого раннего детства их отучали от самостоятельного и критического мышления.

Прогноз Хаксли по использованию досуга сейчас начинает оправдываться в наиболее промышленно развитых капиталистических странах [2]. Там быстро растет достаток у населения, но у массы людей происходит падение духовных и общественных запросов и все больше и больше растет потребление всякого вида наркотиков. Особенно неумело использует досуг и достаток та молодежь, у которой отсутствуют культурные интересы. Юноши и девушки, достигнув зрелого возраста, быстро пресыщаются спортивными и эстрадными зрелищами.

247

На пути секса тоже нет преград. При большом достатке появляется изобилие всякого рода «железяк» (gadgets)— радио, фото, кино, автомашины и пр., но удовольствие от их примитивного использования также быстро притупляется. При этом, чувствуя обеспеченность родителей, молодые люди не испытывают боязни за завтрашний день, отсутствует необходимость борьбы за существование, и все это приводит к тому, что молодежь в этих условиях не имеет перед собой задач, решая которые она могла бы развивать свои силы и волю.

Все это, вместе взятое, делает жизнь молодежи лишенной постоянного внутреннего содержания. К тому же, согласно традиционным принципам капиталистического общества, в семье и в школе при воспитании человека в нем развивают индивидуализм, что ведет к отсутствию у молодежи широких общественных идеалов, как-то: служение людям, науке, искусству,— и все это тоже ограничивает человека в его интересах и лишает жизнь внутреннего содержания. Разнообразные наркотики, которые все больше и больше распространяются среди молодежи как средство, отрывающее ее от действительности, конечно, дают кратковременный уход от нее, но, как известно, при этом происходит разрушение нервной системы человека, еще больше усугубляющее его духовную депрессию. Среди молодежи непрерывно растет преступность.

Вполне понятно, почему сейчас молодежь начинает протестовать против такой действительности. Первые симптомы протеста молодого поколения против существующего общественного строя уже давно стали проявляться, и они хорошо известны — это битники, хиппи и пр. Хотя это явление не массового характера, но все же оно возможно только в обществе, в котором существует избыток средств и досуга. Несомненно, эти явления символизируют отрицательное отношение молодежи к лишенному внутреннего содержания мещанскому укладу современной цивилизации. ,

Гораздо показательнее и серьезнее становятся студенческие волнения, сегодня их следует уже рассматривать как значительное социальное явление, которое должно учитываться государством. В США, по данным статистики, уже в 1968—1969 гг. из всех окончивших среднюю школу 55 % учащихся поступили в высшие учебные заведения, В настоящее время в США в выс-

248

ших учебных заведениях разного уровня обучается 7,5 миллиона человек [3]. Поэтому студенты по своей численности являются значительной общественной политической силой.

Изучение студенческих волнений, которые во всех развитых капиталистических странах так широко охватывают высшие учебные заведения, показывает, что в этом движении большое участие принимает наиболее состоятельная часть студенчества [4].

Это указывает на то, что недовольство вызвано не экономическими причинами, но, по существу, является выражением неудовлетворенности существующей идеологией общественного строя. Социальные заветы, согласно которым должна жить молодежь, не дают нужных ей идеалов, поскольку индивидуализм, свойственный капиталистическому обществу, воспитывает стремление к обогащению и не развивает широких социальных идеалов.

Когда-то религия давала идейную направленность общественной деятельности человека, но теперь, главным образом благодаря научным достижениям, большинству людей стала ясна примитивность доктрин, лежащих в основе верований, поэтому сейчас они могут удовлетворять только небольшую часть общества.

На сегодняшний день студенческое движение носит характер бунта, так как молодежь не нашла еще пока для себя тех идеалов и той структуры общества, за которые следует бороться. Процесс осмысления недовольства только начинается, и он продлится еще несколько лет.

Итак, оказалось, что современное общество пока еще не подготовлено, чтобы с пользой для себя употребить тот материальный достаток и тот досуг, которые дала ему научно-техническая революция. Некоторые социологи указывают на то, что уже сейчас наблюдаются признаки дегенерации общества в наиболее развитых капиталистических странах. В последнее время начинают появляться во все возрастающем количестве социологические исследования вопросов достатка и досуга у широких масс. Поскольку нельзя остановить дальнейший рост материального благосостояния человечества и связанное с этим увеличение досуга, то все исследователи видят большую опасность в этом социальном процессе, если его предоставить самому себе.

Некоторые

249

исследователи не видят выхода из положения и приходят к заключению, что в этом процессе может быть заложен конечный цикл современной цивилизации и ее гибель [5]. Есть высказывания, что неумение людей использовать свой достаток и досуг может стать для человечества не менее опасным, чем гибель от всеобщей атомной, войны.

Конечно, такие заключения недоказательны и преждевременны. Выход из положения можно искать в двух противоположных направлениях. Первое, то, которое так ярко описано у Хаксли в его утопии,— это удовлетворение у широких масс во время досуга только их наиболее примитивных потребностей животного характера, воспитание у них с детства безразличия к духовным и социальным проблемам. Другой путь прямо противоположен — это воспитание в людях с молодых лет высоких духовных запросов, чтобы они с пользой для общества и с интересом для себя могли использовать свой досуг и достаток. Для этого надо дать людям и прежде всего молодежи смысл существования, привить им интерес к решению социальных проблем, воспитывать в них духовные качества, необходимые для восприятия науки и искусства. Несомненно, прогрессивное человечество выберет этот путь. Поскольку воспитание и развитие духовных качеств человека в значительной мере определяется образованием, то это и есть та новая задача, которая выдвинута научно-технической революцией перед школой и перед высшими учебными заведениями.

До сих пор подход к образованию человека был скорее утилитарным. Его обучали для эффективного выполнения его профессиональных функций — инженера, врача, юриста и пр.; Это делалось для того, чтобы он в свое рабочее время более производительнее и сознательно работал. Теперь уже настало время, когда высшее образование становится необходимым всякому человеку для того, чтобы он научился использовать свой досуг и достаток с интересом для себя и с пользой для общества,

Каким же должно быть это образование?

На этот вопрос ответить определенно пока трудно, но общий характер такого решения можно предвидеть, Я думаю, и жизненный опыт показывает, что наиболее удовлетворены своей работой люди творческого труда: ученые, писатели, художники, артисты, режиссеры и пр. Хорошо известно, что обычно люди этих профес-

250

сии не разделяют свое время на рабочее и нерабочее. Они живут своей деятельностью и смысл своего существования видят в своей работе. Мы наблюдаем, что любую работу можно сделать привлекательной и интересной, если в ней имеется элемент творчества, Конечно, при этом процесс творчества надо понимать широко, он проявляется у человека при любой деятельности, когда человек не имеет точной инструкции, но сам должен решать, как ему поступать.

Хорошо известно, что в современном производстве, когда оно имеет массовый характер, для достижения высокой слаженности в работе коллектива все должно делаться точно по инструкции, а это ведет к тому, что творческое проявление отдельного работника отсутствует; современное массовое производство для человека становится скучным и неинтересным. Это хорошо показано в фильме Чаплина «Новые времена».

Некоторые утописты давно предсказывали, что со временем каждый гражданин будет только часть своего времени работать на производстве, а другую часть времени будет тратить на выполнение интересной работы творческого характера в области науки и искусства. Такое решение вопроса нереально, поскольку жизненный опыт показывает, что для полезной работы в области науки и искусства нужен талант, и можно предположить,

что лишь небольшой процент людей имеет достаточно природных дарований, чтобы они могли быть успешно использованы как профессиональные ученые, конструкторы, художники, писатели, артисты и пр. Поэтому сейчас задача ставится иная: как придать досугу рядового человека творческий характер, с тем чтобы он мог его любить и осмысленно использовать.

Жизнь показывает, что творческая деятельность в период досуга для большинства людей вполне осуществима. Она может лежать либо в области гуманитарных интересов, либо в области научно-технических, либо в области социальных проблем. Многие люди уже стали этой деятельности отдавать свой досуг. Но жизнь также показывает, что только тот человек может с интересом проводить свой досуг, который достаточно образован и, главное, приучен вносить в свою деятельность творческий элемент.

Чтобы пояснить это положение, приведу простой пример. Сейчас многие тратят свой досуг на путешествия.

251

Если человек будет осматривать достопримечательные города, то для того, чтобы это было ему интересно, он должен быть подготовлен, например, знать историю. Наибольшее удовлетворение он получит, если самостоятельно осмыслит виденное и сопоставит его с историей других стран или с современностью. Чтобы получить полное удовлетворение, он должен быть обучен этому, и это должно соответствовать его творческим способностям.

Итак, задача, поставленная перед образованием, заключается не только в том, чтобы давать человеку все-сторонние знания, необходимые для того, чтобы стать полноценным гражданином, но и развивать в нем самостоятельность мышления, необходимую для развития творческого восприятия окружающего мира.

Творческие способности ума человека, как правило, выявляются рано, и их можно развивать уже в средней школе, но их характер и направление определяются обычно к 18 годам. Поэтому высшее образование, которое начинается с этого возраста, уже должно быть специализированным согласно индивидуальным способностям человека. Но чтобы воспитывать у всех людей умение проводить досуг, государство, очевидно, должно будет предоставить всему населению возможность получать высшее образование независимо от того, нужно это для профессии человека или нет.

Оставляя теперь в стороне общие вопросы о большом социальном значении творческого воспитания молодежи, я хотел бы поделиться приобретенным за свою многолетнюю научную и организаторскую деятельность опытом и конкретными соображениями о том, как следует вести преподавание, чтобы это не было только заучиванием фактических материалов и запоминанием законов природы, но воспитывало бы у молодежи творческие способности.

Этим вопросом я давно интересуюсь, вне зависимости от тех соображений о необходимости при обучении развития у человека творческих способностей в связи с увеличением у людей за последнее время досуга и досуга, о которых я говорил вначале.

Вопрос отбора и воспитания молодежи для творческой научной работы всегда является фундаментом успешного развития науки.

Поскольку воспитание человека начинается, по существу, в средней школе, рассмотрим в общих чертах,

252

как оно должно быть преобразовано, чтобы удовлетворять поставленной перед ней задаче воспитания у учеников самостоятельности мышления.

До сих пор основной задачей среднего образования было накопление определенного количества сведений в различных областях знаний, необходимых каждому человеку, чтобы быть полноценным гражданином своей страны. Но при воспитании творческих способностей к ученику требуется индивидуальный подход, что в значительной мере осложняет обучение.

У юноши или девушки обычно довольно рано выявляется, где лежат их творческие способности — в области ли точных знаний или в области искусств и литературы. Школа, конечно, должна учитывать эту разницу в способностях молодежи и всячески избегать насилия над природными склонностями учащихся. Я всегда исходил из того, что при воспитании будущего ученого раннее развитие его творческих способностей имеет исключительно большое значение, и поэтому следует их развивать со школьной скамьи, и чем раньше, тем лучше.

Воспитание творческих способностей в человеке основывается на развитии самостоятельного мышления. На мой взгляд, оно может развиваться в следующих основных направлениях: умение научно обобщать —

индукция; умение применять теоретические выводы для предсказания течения процессов на практике — дедукция; и, наконец, выявление противоречий между теоретическими обобщениями и процессами, происходящими в природе, — диалектика.

Нетрудно видеть, что наиболее подходящими областями для воспитания у молодежи общего научного творческого мышления в естествознании являются математика и физика, так как здесь, главным образом путем решения задач и примеров, можно с раннего возраста воспитывать самостоятельность мышления. Если сравнить эффективность развития творческого мышления у молодых людей, посвятивших себя математике и физике, то, по-видимому, окажется, что область физики гораздо ближе к жизни и к возможностям научного изучения процессов в окружающей нас природе, тем более что уже на лабораторных занятиях школьник видит, как из наблюдений выводятся теоретические обобщения (индуктивный метод изучения природы), Решение задач

253

приучает школьника к дедуктивному мышлению. Для воспитания же диалектического мышления преподаватель на ряде примеров может показать, как противоречие между теоретическими представлениями и экспериментом приводит в физике к новым научным открытиям.

Физика является весьма подходящим предметом для начального воспитания в юношестве творческого мышления в области естествознания. Это делает организацию преподавания физики в школе ответственной задачей. Общеизвестно, что большую пользу для развития творческого мышления в физике приносят практикумы, семинары, и следует особо отметить решение задач и организацию олимпиад, которые позволяют наиболее эффективно выявлять творческие способности юношества.

Наш опыт показывает, что задачи, которые дают обычно в сборниках, не всегда имеют тот характер, который воспитывает самостоятельность мышления. Обычно эти задачи сводятся к тому, что надо подставить заданные данные в нужные формулы, и тогда получишь определенный ответ. Самостоятельность ученика проявляется только в том, чтобы правильно выбрать формулы, в которые нужно подставить данные.

Мне думается, что следует ставить задачи менее определенно, давая ученику самостоятельно подбирать подходящие величины из опыта. Вот примеры таких простых задач. Предложить определить мощность мотора насоса, необходимого для поддержания струи, чтобы тушить пожар шестизэтажного дома. Или другая задача: каких размеров должна быть линза, чтобы собранные в ее фокусе солнечные лучи раскалили железную проволоку? Очевидно, ученик сам из жизненного опыта или из справочника должен подобрать необходимые ему данные. Я предлагал задачи подобного рода, но, конечно, несколько более сложные, студентам. В продолжение нескольких лет они их собирали и издали в виде брошюры [6]. Студенты любят такие задачи, они не имеют точного решения, и это вызывает живое обсуждение. Аналогичный задачник может быть составлен и для средней школы.

Сейчас, чтобы более тщательно готовить для научной работы наиболее способную молодежь, как в Совет-

ском Союзе, так и в других странах стали создавать специальные школы для особо одаренных детей.

В области искусств это, может быть, и оправдывает себя, поскольку творческие артистические способности к музыке, изобразительным искусствам и др. обычно определяются гораздо раньше, чем склонность к творческому мышлению в определенной области науки.

Но школы, созданные для избранной, одаренной молодежи в области математики, физики, химии, биологии, оказываются даже вредными. Вред их заключается в следующем. Если талантливого школьника изъять из школы, то это ее как бы обескровливает и сильно сказывается на уровне всей школы. Это объясняется тем, что способный товарищ может уделять своим одноклассникам гораздо больше времени, чем учитель, и взаимная помощь между ними налаживается проще и теснее, Талантливые школьники часто играют большую роль, чем учителя, для обучения своих товарищей. Но этого мало.

Хорошо известно, что в процессе обучения сам обучающийся учится. Чтобы объяснить товарищу теорему, надо хорошо ее самому понять, и в процессе объяснения лучше всего выявляется своя собственная неполнота понимания. Таким образом, талантливым школьникам для своего умственного роста нужны товарищи, с которыми они могли бы заниматься. В школе для талантливой молодежи такого взаимного обучения обычно не возникает, и это сказывается на эффективном развитии способностей. Конечно, есть еще ряд других хорошо из-

вестных факторов, которые являются отрицательной стороной такого рода избранного воспитания, например развитие среди учеников самомнения и самонадеянности, которые вредят нормальному росту [молодежи](#).
255

Хорошо известно, что при воспитании у молодежи творческих способностей очень важна роль преподавателя. Тут мы встречаемся с большими трудностями, так как практически оказывается невозможным обеспечить среднюю школу достаточным числом талантливых преподавателей, умеющих индивидуально подходить к ученикам и воспитывать в молодежи самостоятельность мышления.

Большинство преподавателей ставят перед собой задачу передать ученикам определенное количество знаний и оценивают успеваемость ученика, исходя из того, насколько твердо он их усвоил. К тому же и сама школа для оценки самостоятельности мышления не имеет критерия. Подбор подходящего типа преподавателей является для поставленной задачи наиболее трудной проблемой. Мне думается, что к решению этой проблемы есть путь, хотя он и не прост. Этот путь аналогичен тому, который мы широко применяем в одном из высших учебных заведений в Москве, созданном специально для подготовки научных работников в ведущие исследовательские институты, преимущественно находящиеся в ведении Академии наук СССР.

Основная идея, которую мы использовали, заключается в следующем. История науки показывает, что те ученые наиболее плодотворно ведут свои исследования, которые имеют учеников и вместе с ними работают. Это видно на примере самых крупных ученых. Например,

256

Менделеев открыл периодическую систему элементов, когда искал способ, как описать свойства элементов, чтобы их лучше могли запомнить студенты, которым он читал лекции по основам химии. Молодой Лобачевский, когда преподавал геометрию в школе взрослых, проходящих курс средней школы, не находил удовлетворительного способа объяснения ученикам очевидности постулата о непересекаемости параллельных линий, и он открыл неевклидову геометрию. Стоке, составляя задачи для студентов по математике, предложил в одной из них доказать, что интеграл, взятый по контуру, просто связан с величиной потока, проходящего через этот контур. Теперь это называется теоремой Стокса, хотя на самом деле он никогда не опубликовывал ее доказательства и предоставлял доказывать самим студентам. Как известно, эта теорема стала фундаментальной, поскольку она легла в основу уравнений Максвелла. В знаменитом трактате Максвелл при выводе своих уравнений ссылается на сборник задач, составленный Стоксом, Эти примеры можно продолжить до наших дней. Так, Шредингер нашел свои знаменитые уравнения в процессе объяснения работы де Бройля группе аспирантов Цюрихского университета, где он делал это по просьбе Дебая, который и рассказал мне о том, как были найдены основные уравнения квантовой механики.

Исходя из этого, в ряде исследовательских институтов мы предлагаем молодым научным сотрудникам читать небольшие курсы лекций студентам и вести с ними семинары, обычно по специальным предметам. Это отнимает у них не более одного рабочего дня в неделю. Введена хорошая оплата за эту работу. Мы считаем, что в результате молодой научный работник получает не меньшую пользу, чем сами студенты. Бывали случаи, когда молодые научные сотрудники по собственной инициативе шли в среднюю школу и преподавали физику в старших классах; это тоже давало положительные результаты.

Мне думается, что вполне возможно организовать преподавание физики в старших классах средних школ, используя те же принципы и привлекая к этому молодых научных работников из исследовательских институтов. Это будет полезно и им, и ученикам, трудность тут в организации. Ведь надо, чтобы для научных работников это не было обременительной нагрузкой и не

257

занимало больше одного рабочего дня в неделю. Но в средней школе это вызывает ряд организационных затруднений в распределении работы. Возникает необходимость в большом числе преподавателей, так как каждый из научных сотрудников не сможет уделить школе много времени, что, в свою очередь, усложняет работу административного аппарата.

В заключение хочу еще раз подчеркнуть: нет сомнения, что для правильного обучения современной молодежи нужно воспитывать в ней творческие способности, и делать это надо с учетом индивидуальных склонностей и способностей человека, начиная со школьной скамьи, и продолжать в высших учебных заведениях. Это фундаментальная задача, от решения которой может зависеть будущее нашей цивилизации не только в одной стране, но в глобальном масштабе, задача не менее важная, чем проблема мира и предотвращения атомной войны.

Чтобы человечество развивалось по пути гуманизма, культуры и социального прогресса, все мы, ученые и люди интеллектуального труда, должны принимать активное участие в разработке вопросов, связанных со здоровым и прогрессивным воспитанием нашей смены,

ЛИТЕРАТУРА

1. *Huxley A. Brave New World.* — N. Y., 1932. (Перевод: *Хаксли О.* Прекрасный новый мир, — Интернациональная литература, 1935, № 8.)
2. *Huxley A, Brave New World Revisited.* — L., 1959.
3. *Projections of Educational Statistics to 1977—1978.* — Washington, 1969, pp. 12, 13, 30.
4. *Youth in Turmoil.* — N. Y., 1969.
5. *Stent G. The Coming of the Golden Age, A View of the End of Progress.* Garden City. — N. Y., 1969.
6. *Кануца П. Л.* Физические задачи. — М.: Знание, 1972.

ПРОФЕССОР И СТУДЕНТ

Выступление на вечере выпускников Московского физико-технического института

1963

Наш традиционный вечер, где собираются окончившие Московский физико-технический институт и те, которые предполагают его окончить, разделяется на две части, Первая часть называется торжественной и посвя-

щена жизни и деятельности нашего института. Во втором отделении мы смотрим нашу замечательную самодеятельность, встречаемся со старыми друзьями и веселимся. Мне приходится принимать участие в первой части этой программы, которая менее привлекательна, чем вторая часть, но следует помнить, товарищи, что хороший обед всегда состоит из сытного жаркого и только после него сладкое блюдо доставляет нам удовольствие, и вот этим жарким нельзя пренебрегать, надо относиться к нему со всей серьезностью. Конечно, для меня, как повара, не такая это легкая задача сделать вам вкусное жаркое за 15—20 минут, которые даются на выступление, и поговорить о наших делах так, чтобы это было серьезно и чтобы вы не заснули. У нас есть, однако, целый ряд вопросов, связанных с работой нашего института, которые должны заинтересовать всех нас. Вот об этих вопросах мне и хотелось бы с вами поговорить.

Вам всем хорошо известно, что физтех был создан около двадцати лет назад. Основная идея создания этого института была проста и очевидна. Наука развивалась чрезвычайно быстро как у нас в Советском Союзе, так и в других странах; создавалось много научных институтов, эти институты притягивали к себе лучших научных работников, и вся «большая» наука сосредоточивалась в этих институтах. Вузы были обескровлены — они теряли преподавательский состав, профессуру, а также оборудование, на котором обучались студенты. Поэтому студенты не имели возможности еще в вузе приступить к научной работе и они должны были переучиваться в других институтах перед тем, как подойти к научной работе.

Такой разрыв между вузами и научными институтами оказался чрезвычайно вредным для подготовки молодых кадров, поэтому надо было этот разрыв ликвидировать. Для этого и был создан Московский физико-технический институт, в котором обучение студентов тесно связано с научной работой, они учатся на самом современном оборудовании, их обучают молодые ученые, которые активно работают в науке, и, наконец, физтеховцы имеют возможность приступить к научной деятельности со второго-третьего курса. Таким образом, все те недостатки в организации нашей науки, которые связаны с ее быстрым ростом, были в значительной мере ликвидированы.

259

Успех этой системы несомненный. Учебных заведений, работающих по тому же принципу, как и МФТИ, который готовит молодых ученых, становится все больше и больше в Советском Союзе. Однако, как ни успешно работает такая система в продолжение этих лет, в ней есть еще существенные недостатки, с которыми надо бороться и которые надо выправлять, и наша задача — поставить диагноз этих недостатков, искать способы их ликвидировать.

Первый выпуск МФТИ настолько сейчас подрос, что ректором нашего института стал товарищ Белоцерковский, старый наш физтеховец. Благодаря тому, что он успешно проходил свой курс у нас и хорошо понимает дух и значение системы преподавания и обучения в физтехе, с ним чрезвычайно приятно и легко стало работать, и мы с ним часто обсуждаем те мероприятия, которые необходимы для улучшения нашей работы.

Мы замечаем, что у нас еще есть все-таки большие пробелы в нашей профессуре, нам не всегда удается привлечь к обучению молодежи лучших профессоров. И есть еще один недостаток, о котором я скажу. Институт не выполняет еще все те функции, которые он мог бы выполнять. Вот об этих функциях я тоже хочу поговорить. Что касается подбора профессуры, то, как вы знаете, у нас есть и хорошие профессора, есть и средние, и даже встречаются ниже среднего. Тут ничего не поделаешь. Так всегда будет.

Самое, пожалуй, тяжелое то, что у нас недостаточно хорошо обеспечено преподавание основных дисциплин. В прежние времена чтение курсов основных предметов в высших учебных заведениях — общая физика, химия, математика, механика — возлагалось на самых крупных ученых, и считалось исключительно почетным делом вести такие курсы. Теперь это изменилось, трудно сказать, почему. Потому что с точки зрения воспитания молодежи очень важно, конечно, чтобы основа знаний давалась крупными учеными, которые закладывали бы фундамент, сообщали молодежи то, что нужно для построения здания. Если фундамент будет недостаточно надежным, то и все здание будет некрепко стоять на ногах.

Как поправить дело, как обеспечить, чтобы в вузе читали курс лучшие профессора, лучшие преподаватели, лучшие ученые? Казалось бы, можно было бы использо-

260
вать современную технику, скажем, сделать кинофильм, в котором лектор, самый крупный ученый в данной области (или даже группа ученых), будет рассказывать студентам физику, или химию, или математику.

Конечно, это привлечет лучших профессоров к преподаванию студентам. Но посмотрим, что из этого получится на самом деле. Может быть, администрация института и будет приветствовать такое начинание — сократится число штатных единиц и не будет необходимости привлекать и подыскивать преподавательские кадры. С точки зрения министерства — те же самые удобства. Сделав один фильм, они смогут сократить свои штаты и снизить расходы по вузам. Некоторые студенты были бы рады, поскольку все-таки в темных киноаудиториях комфортабельнее спать, чем в светлых.

И все же такая система, конечно, нелепа. Вы представьте себе, что в институте вместо профессуры стоят одни киноаппараты и ходят только студенты и киномеханики. Это будет исключительно скучное и темное заведение, к которому вы не будете относиться как к своей *альма матер*. Не в этом, однако, дело. Говорят, студенты рано или поздно как-нибудь к этому приспособятся, как-нибудь это переживут. Гораздо хуже отнесутся к этому изменению сами преподаватели. Дело в том, что совершенно забывают о другой функции высшего учебного заведения — учить не только студентов, но учить и самих профессоров и преподавателей.

Хороший ученый, когда преподает, всегда учится сам. Во-первых, он проверяет свои знания, потому что, только ясно объяснив другому человеку, можешь быть уверен, что сам понимаешь вопрос. Во-вторых, когда ищешь форму ясного описания того или иного вопроса, часто приходят новые идеи. В-третьих, те, часто нелепые, вопросы, которые задают студенты после лекций, исключительно стимулируют мысль и заставляют с совершенно новой точки зрения взглянуть на то явление, к которому подходим всегда стандартно, и это тоже помогает творчески мыслить.

И наконец, студенты лучше знают, шире знают вопросы физики, чем преподаватель. Преподаватель, как специалист, подходит узко, у него нет широкого подхода. У студентов гораздо шире подход. И когда студент беседует с преподавателем, преподаватель очень много узнает от студента.

Вот почему молодым ученым необходимо заниматься преподавательской деятельностью. Хороший вуз — это тот вуз, который дает возможность развиваться талантам преподавателей так же широко, как и талантам их учеников.

Чтобы показать, что это не общие фразы, я вам приведу целый ряд примеров того, как преподавательская деятельность приводила к большим открытиям. Примеры эти настолько разительны, что они, мне кажется, вполне подтверждают эту идею.

Один из самых классических примеров хорошо известен — это Менделеев и его периодическая система. Менделеев искал, каким способом легче объяснить студентам свойства элементов, чтобы эти свойства могли восприниматься по определенной системе. Он распределял элементы по карточкам, складывал эти карточки в разном порядке и, наконец, нашел, что карточки, разложенные в виде периодической таблицы, представляют собой закономерную систему. 1 марта 1869 г. таблица была напечатана отдельным изданием и немногим позже вошла как приложение во второй выпуск «Основ химии». Таким образом, периодическая система элементов в основе своей возникла из педагогической деятельности Менделеева как профессора Петербургского университета.

Второй случай, немного более ранний, относится к математике. В начале XIX в. русское правительство решило, что все чиновники должны иметь среднее образование. Те чиновники, которые не имели аттестата зрелости, должны были его получить. Чтобы облегчить им это, были созданы курсы, которые готовили к экзаменам на аттестат зрелости. Одним из преподавателей геометрии таких курсов был Лобачевский. Ему было тогда 24—25 лет. Он был очень молод, и он объяснял престарелым чиновникам принципы евклидовой геометрии. И они никак не могли понять, откуда берется аксиома о непересекаемости двух параллельных линий.

Лобачевский долго бился над тем, чтобы дать подходящее объяснение, но убедился, что такого объяснения не существует. Он понял, что можно построить такую геометрию, при которой линии всегда пересекаются. Так была создана его неевклидова геометрия. Таким образом, он нашел новую область математики, которой,

262

как вы знаете, суждено было сыграть фундаментальную роль в современной физике.

Могу привести еще пример, о котором мне рассказал известный физик Дебай. Дебай в то время был преподавателем, профессором в Цюрихе. У него был ученик, тоже преподаватель, Шредингер, тогда еще мало известный молодой ученый. Дебай познакомился с работой де Бройля, в которой де Бройль, выдвинувший, как вы знаете, гипотезу о существовании волновой структуры электрона, показал, что при известных условиях интерференции можно заменить движение электрона волновым движением. Идея эквивалентности волнового движения и квантовых процессов, волнового движения и корпускулярного движения была воспринята целым рядом физиков весьма отрицательно. Отрицательно отнесся к ней и Шредингер. Когда Дебай попросил его рассказать молодежи о работах де Бройля, Шредингер сначала отказался. Потом, когда Дебай, пользуясь своим положением профессора, снова предложил ему это сделать, Шредингер согласился, и он начал искать, как можно было бы объяснить идеи де Бройля в наиболее полной и точной математической форме. И когда он рассказал о работах де Бройля в том представлении, какое он считал наиболее точным, Дебай ему сказал: «Послушайте, ведь вы же нашли новый замечательный вид уравнения, который является фундаментальным в современной физике». Таким образом, в результате педагогической деятельности было найдено и волновое уравнение — основное уравнение современной физики.

Приведу вам еще четвертый пример. Происходило это в Кембридже, во второй половине прошлого века. Теоретическую физику тогда преподавал Стоке. К нему пришел сдавать аспирантский экзамен один молодой человек. Аспирантский экзамен в те времена был довольно трудный, потому что аспирантур тогда было очень мало — всего две-три, и состязание за право попасть в аспирантуру было очень трудным. Стоке давал задачу, причем система была такая: давался десяток задач, и студент сам выбирал те, которые он хотел решить. Ему давалось определенное число часов, и Стоке, не стесняясь, ставил часто неразрешимые задачи, чтобы посмотреть, знает ли студент, что эта задача неразрешима. Он ставил, например, такую задачу (то были домаксвелловские времена); найти распределение скоростей

263

в газе. Тогда это распределение скоростей не было известно. Бернулли и все остальные считали, что скорости примерно равны.

Молодой человек, к удивлению Стокса, решил эту задачу, и решил правильно. Вы догадываетесь, что этот молодой человек был не кто иной, как Максвелл.

Таким образом, открытие закона распределения скоростей молекул в газе было сделано Максвеллом на экзаме.

Таких примеров можно было бы привести еще много, но мне кажется, что совершенно очевидно, что если учебная деятельность плодотворна в таких серьезных фундаментальных вопросах, то она, несомненно, плодотворна и в более простых вопросах, она часто оказывает плодотворное влияние на современную науку и на современных ученых. Поэтому высшие учебные заведения нужно рассматривать не только как заведения, в которых готовят молодых ученых, но и как место, где развиваются научные таланты и уже сформировавшиеся ученые. Учебные заведения должны быть так организованы, чтобы эта возможность была широко предоставлена преподавательскому персоналу.

У нас это не всегда признается. До сих пор, например, в университетах и в других высших учебных заведениях считается разумным, чтобы часть персонала занималась научной деятельностью, а часть персонала — педагогической. Как раз в высших учебных заведениях должна быть такая система, чтобы она основывалась на ученых, которые небольшую часть своего времени занимаются педагогической деятельностью. Только тогда учебное заведение будет выполнять все свои функции — учить студентов и учить преподавательский персонал. Поэтому замена профессоров киноаппаратами совершенно нелепа, она бы сделала невозможной вторую часть деятельности высшего учебного заведения, которая, несомненно, в ближайшем будущем будет развиваться и на которую мы обратим большое внимание. Должны обращать большое внимание.

Я вам рассказал об этом, потому что всем вам, молодым ученым, в ближайшее время предстоит покинуть физтех и в том или ином виде заниматься в научно-исследовательских институтах. Если вы хотите продолжать расти как ученые, не стареть и развивать свои знания, вам необходимо не терять контакта со следующим

264
подростающим поколением, учить это подрастающее поколение и учиться у него, развивать свои знания. Если вы оторветесь от обучения молодежи, вы сразу начнете стареть и сразу начнете отставать от науки. Вот этот маленький завет я вам хочу передать от себя, так как считаю его очень важным.

СЛОВО К ЮБИЛЕЮ ИНСТИТУТА

Выступление на торжественном собрании, посвященном 50-летию Физико-технического института им. А. Ф. Иоффе

1968

Обычно я избегаю говорить на юбилеях, так как не знаю, о чем говорить, но, когда меня попросили выступить на 50-летию Физико-технического института, я не мог отказаться.

Здесь много и справедливо будут говорить об исключительных достижениях ФТИ и о его замечательном основателе Абраме Федоровиче Иоффе. Хорошо известно, что этот институт — ведущее научное учреждение не только в нашей стране. Также хорошо известно, что он воспитал основные кадры наших физиков. Вообще можно много говорить о той громадной роли, которую играл сам Абрам Федорович в создании физики в нашей стране. Мы, которые тогда помогали ему в его работе, радуемся и гордимся достигнутыми результатами. Обо всём этом я не собираюсь говорить, но я думаю, интересно и полезно разобрать вопрос, почему же наш Физико-технический институт так успешно развивался и почему он продолжает быть одним из ведущих институтов страны.

Мне кажется, есть одна особенность в жизни ФТИ, которая недостаточно оценивается и которая если не решающая, то очень важная для успеха его деятельности. То, о чем я собираюсь говорить, не тривиально, и я начну несколько издаleка.

Несомненно, если мы празднуем юбилей, значит, у института есть возраст. Если у института есть возраст, значит, он родился. А все, что рождается, — умирает, в этом диалектика развития природы. Умирают инфузии, умирает человек, умирают учреждения, умирают государства, И наконец, умирает вся наша планетная

265

система. Если что рождается, оно неизбежно должно умереть, и это также значит, что оно имеет возраст.

Что такое 50 лет для научного института? Какому возрасту это соответствует? Это юность? Зрелость? Старость? Вот на этом вопросе я сперва и остановлюсь. Как определить возраст института?

Возраст человека мы привыкли просто определять по широкому опыту. Мы хорошо знаем, что после 50 лет начинают проявляться так называемые склеротические явления, признаки развития старости. И такие же явления должны развиваться и у учреждения. Какие же соответственные склеротические явления развиваются в учреждениях? По аналогии их нетрудно определить. Перечислим некоторые из основных.

У человека появляется старческая обжорливость. То есть человек ест больше, чем он может полезно переварить. У института тоже появляется обжорливость — он поглощает больше средств, чем он может полезно освоить.

Есть еще одно проявление старости — у человека образуются клетки, которые не принимают активного участия в деятельности организма, обременяют его и вызывают так называемое старческое ожирение. Такие же процессы происходят и у учреждения. Со временем появляются кадры, которые не принимают активного участия в работе. Они обременяют институт, и от них, как известно, освободиться почти невозможно.

Укажем еще на следующее склеротическое явление. Это старческая болтливость. Как известно, она проявляется в том, что человек начинает много говорить и, когда он излагает свои мысли, он мало считается с тем, как реагируют слушатели или аудитория. Этим и характерна старческая болтливость. У института это тоже имеет место. Он начинает печатать большое количество работ, не считаясь с тем, нужны они или не нужны. Это тоже склеротическое явление.

Мы знаем, что с возрастом у человека теряется способность к размножению, то же самое может наблюдаться и у института. Опыт показывает, что здоровая жизнедеятельность научного института сопровождается воспитанием молодежи, кадров, которые, отпочковываясь, создают самостоятельные институты и лаборатории, в которых развиваются новые направления, Если

266

институт перестает это делать, то это проявление старческого склероза.

Но есть одно проявление старческого склероза как у ученого, так, по аналогии, и у научного института, которое наиболее сильно влияет на их здоровую деятельность. Оно заключается в следующем. Когда ученый молод, в расцвете своих сил, он наиболее активно работает, тогда он осваивает прогрессивную методику исследования, вырабатывая свой образ мышления, у него создается кругозор, который он обычно сохраняет до конца жизни. Во второй половине жизни, в зрелом возрасте, он работает на основе опыта и методов, освоенных им в первом периоде научной деятельности, он хуже воспринимает новое и отстает от прогрессивного развития науки. Это одно из наиболее печальных проявлений старости.

Мы видим, что даже такой гениальный человек, как Эйнштейн, в последние десятилетия своей жизни не воспринимал новые идеи квантовой теории, как, например, принцип неопределенности, и хорошо известна та большая дискуссия по этому вопросу, которая у него возникла с Бором. Такие возрастные явления мы очень часто наблюдаем у ученых.

Чтобы охарактеризовать аналогичные процессы в научном институте, я думаю, что лучше всего воспользоваться той аналогией, которой сейчас часто пользуются, чтобы популярно описать организацию научных работ. Она заключается в том, что ученые — это армия, которая завоевывает природу с тем, чтобы ее покорить и поставить на службу человечеству. Эта армия образует непрерывный фронт, охватывающий все области науки и по всем направлениям. Этот фронт проходит не только в одной стране, но распространяется на все страны, поэтому ученые являются воинами одной интернациональной армии, боевые действия которой имеют общую задачу — покорение природы.

Если мы разовьем эту аналогию дальше, то увидим, что на непрерывном фронте есть участки, где действия ведутся наиболее активно, и есть участки, где ведется позиционная война. На тех участках, где имеется большая активность, происходит прорыв фронта и проникновение в новые научные области. Прорыв фронта обычно связан с открытием новых явлений в природе, или с нахождением новой методики исследования, или

267

с созданием новой теории. При этом достигаются наиболее крупные победы над природой. Жизнь показывает, что активные действия в какой-либо области науки в зависимости от масштабов прорыва делятся не более 5—10

лет. Когда они кончаются, то фронт переходит в состояние позиционной войны и подготовки к следующему прорыву.

Часто мы наблюдаем, что в научном институте не замечают окончания активных действий на таком участке фронта и продолжают держать там крупные силы вместо того, чтобы перевести их на тот участок, где возникает новый прорыв. Таким образом, получается, что лучшие научные силы плохо используются и происходит вырождение научной работы института. Когда научная работа в институте перестает охватывать передовые направления в науке, то это следует рассматривать как проявление старческого склероза.

Можно ли бороться с этим проявлением старости? Я думаю, что можно, как у человека, так и в научных учреждениях.

Какие же средства существуют, чтобы бороться с проявлением старости? Жизнь показывает, что есть одно основное средство, и, может быть, оно даже единственное, для борьбы со старостью. В чем оно заключается, я лучше скажу словами Резерфорда. Он говорил мне: «Капица, я себя чувствую молодым, потому что я работаю с молодежью».

Иметь учеников и работать с молодежью — это самое верное средство для ученого сохранить молодость и не отставать от прогресса в науке;

То же самое относится к научному институту. Если научный институт активно пополняется хорошо отобранными молодыми силами, серьезно занимается воспитанием молодых ученых и смело поручает им ответственные задания, в таком институте перестают развиваться явления, связанные со старческим склерозом. Вот такая жизнь — связь с молодежью — всегда была в ФТИ, и я уверен, что благодаря этой связи он был передовым, не стареющим научным учреждением. Живая связь с молодежью у ФТИ образовалась естественным путем, так как он возник при Политехническом институте, где группа молодых преподавателей, занимающихся научной работой под руководством Абрама Федоровича, стала тем ядром, из которого вырос ФТИ. С тех пор между

268
этими учреждениями неизменно существовала тесная связь. Отбирая лучшую молодежь из Политехнического, ФТИ в процессе научной работы продолжал ее учить и воспитывать. Это и есть тот источник молодости ФТИ, благодаря которому он всегда оставался передовым институтом.

Это хорошо подтверждается тематикой, которой он занимался все 50 лет, она всегда относилась к актуальным проблемам современной физики. Когда институт возник, он начал работать над строением атома. В те годы это была самая передовая тематика. Скоро после этого стала развиваться квантовая теория, и опять же это была основная тема института. Потом он перешел на ядро, потом на полупроводники, потом на плазму. Всегда это были наиболее передовые направления мировой науки. Институт не боялся менять тематику. Нетрудно видеть, что у нас в стране целый ряд крупных институтов как раз страдает тем, что они боятся менять тематику, и тогда оказывается, что вся работа института переходит на «позиционную войну».

Уже давно мы обратили внимание, что участие хорошо подобранных и подготовленных молодых кадров из Политехнического института является большим преимуществом ФТИ перед теми научными институтами, которые изолированы от вузов. Когда после войны у нас в стране стала быстро расти наука, группа московских академиков решила, что следует развивать эту плодотворную связь между научным институтом и вузом. Мы считали, что эту связь следует организовать более широко. Для этого надо создать одно специализированное учебное заведение, которое бы воспитывало молодежь совместно с рядом научно-исследовательских институтов.

Так возник Московский физико-технический институт, который в сотрудничестве с институтами, которые мы называли базовыми, воспитывает для этих институтов кадры молодых ученых. Первые два-три года все студенты обучаются в МФТИ общим предметам, как физика, математика, механика и др. Дальнейшее специализированное обучение происходит в базовых институтах, где студенты сразу же начинают принимать участие в научной работе. При такой системе обучения после защиты диплома базовый институт отбирает себе действительно наиболее способное и уже обученное для

269

научной работы в этом институте пополнение. Сейчас, после 20 лет существования МФТИ, опыт показал большую пользу такой связи научных учреждений с вузом. Оказалось, что воспитанная и отобранная таким образом молодежь действительно становится ведущими научными работниками в исследовательских

институтах. Таким образом, те новые идеи, которые возникли при создании Абрамом Федоровичем Иоффе Физико-технического института, нашли широкое распространение и оказали влияние на организацию научной работы в нашей стране. И я хотел бы пожелать Физико-техническому институту и после своего 50-летия оставаться таким же молодым, таким же далеким от старости и передовым еще много, много лет,

**) После опубликования в «Комсомольской правде» части моего доклада, посвященной преподаванию в средней школе, я получил ряд писем по этому вопросу, из которых видно, что я недостаточно четко выразил свою мысль. Я не против специальных школ, но, вероятно, я иначе представляю себе задачи, которые они должны преследовать.*

На мой взгляд, специальные школы, по сравнению с обычными, должны преследовать задачи, аналогичные тем, которые преследует клиника по сравнению с больницами.

Клиника изучает и отрабатывает новые методы диагностики и лечения и для этого имеет наиболее квалифицированный персонал,

и ее задача — внедрять передовые методы в жизнь и этим поднять уровень медицинского обслуживания больных в обычных больницах. При этом, конечно, клиники должны быть специализированными по определенным видам заболеваний. Полезность и необходимость такой организации в здравоохранении общепризнаны и не вызывают сомнений. То же должно иметь место и при развитии образования.

Задача специальных школ — изучать и разрабатывать передовые методы обучения и воспитания. Спецшколы должны иметь хорошо подобранные кадры преподавателей и образцовую организацию. Конечно, такие школы не могут охватывать обучение по всем областям знания и должны быть специализированы по отдельным дисциплинам, как математика, физика, биология и пр. Я считаю, что повышение уровня преподавания в стране в широких масштабах и должно быть основной задачей спецшкол. Если это так, то из этого следует, что характер организации этих школ, отбор преподавателей и учеников должны быть согласованы с этой задачей.

Спецшколы по основным отраслям знания, задачи которых — разрабатывать и внедрять наиболее передовые методы преподавания в масштабе всей страны, всегда будут нужны.

ПАМЯТИ ЭРНЕСТА РЕЗЕРФОРДА

Статья в газете «Известия» 1937

В лице Эрнеста Резерфорда мировая наука потеряла самого крупного и смелого физика-экспериментатора наших дней. Я не сомневаюсь, что его имя в истории физики станет наравне с именем Фарадея.

Резерфорд, как и Фарадей,— в основном экспериментатор, наделенный исключительной интуицией. Она вела его к тем экспериментам, посредством которых он находил в самых трудных и основных проблемах науки простые и ясные решения. В физике, как и во всякой науке, существует ряд основных проблем, решение которых обозначает как бы вехами тот путь, по которому развивается научная мысль. Мало кому из ученых удастся поставить больше одной такой вехи. Резерфорд, как и Фарадей, поставил их несколько.

В 1903 г., одиноко работая в маленьком провинциальном университете Монреаля (в Канаде), он доказал, что радиоактивность есть спонтанный распад элемента радия, открытого супругами Кюри. Он доказал это блестяще и неопровержимо убедительно, получив из радия эманацию и гелий. Смелая идея, руководившая его работой, шла вразрез с установившимся уже много десятилетий понятием о постоянстве атома. Эта работа подвела совсем новый фундамент под наши взгляды на материю и лежит теперь в основе наших космологических воззрений.

В 1911 г. Резерфорд создает модель атома. Экспериментально он показывает, что атом всякого вещества как бы подобен Солнечной системе. В центре положительно заряженное весомое ядро окружено отрицательными электронами. Эта модель в 1913 г. легла в основу созданной Нильсом Бором теории атома и спектров.

271

Теперь эти взгляды являются ведущими как в физике, так и в химии.

В 1919 г. Резерфорд экспериментально доказал возможность искусственного разложения материи. Он разложил ядро элемента азота и, таким образом, указал путь и положил основание современной физике ядра.

Для всех, близко его знавших, его смерть была полной неожиданностью. Он все время энергично руководил своими учениками в Кавендишской лаборатории, где он создал самую крупную школу физиков Англии. Его творческая мысль неистощимо работала, и он принимал живое участие в совместной работе ученых всех стран. Резерфорд был не только гениальным ученым, но и большим учителем. Он оставляет после себя значительное количество учеников, рассеянных по всему свету.

Работы Резерфорда получили мировое признание. Еще в 1908 г. он получил Нобелевскую премию, имел все научные международные отличия. Он был почетным членом всех академий мира, в том числе и нашей всесоюзной..

НАУЧНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ РЕЗЕРФОРДА

Из доклада, прочитанного в Университете физико-химии им. Н. Д. Зелинского 1937

Эрнест Резерфорд, известный всему миру как величайший ученый наших дней, родился в 1871 г. в деревне Брайтуотер, около городка Нельсон в Новой Зеландии. Ученый, имевший все международные отличия, какие только может иметь человек науки, Резерфорд начал свою жизнь очень скромно. Он был четвертым ребенком мелкого фермера, у которого после него было еще восемь детей. Его отцу, культивировавшему лен, было не под силу дать образование 12 детям, и Резерфорд, начиная с детского возраста и до получения высшего образования, все время учился на стипендии.

Это был очень живой, активный, веселый ребенок, любивший охоту, спорт. В школе и в университете он играл форвардом в футбольной команде. Но также он любил читать, мастерить модели, разбирать механизмы.

272

Еще мальчиком он сделал себе фотографический аппарат, что по тем временам было довольно трудно. Окончив школу в 1890 г., он поступает в университет Кентербери-колледж в г. Крайстчерч. Это маленький провинциальный университет, там было всего 150 студентов и семь профессоров. С первого дня он увлекается наукой и начинает исследовательскую работу.

В студенческие годы Резерфорд очень заинтересовался радиоволнами, открытыми Герцем. Его увлекла идея беспроводного телеграфа, но вопрос тогда упирался в то, чтобы найти детектор для электрических колебаний, возбужденных проходящими волнами. Резерфорд обнаружил, что высокочастотные колебания намагничивают железо. Практически это очень легко обнаружить, если рядом с намагниченным пучком железных проволок, помещенным в колебательный контур, поставим магнитную иглу. Тогда игла заметно отклонится при приеме радиоволн. Это открытие он опубликовал, и в маленьком университете это произвело впечатление и сразу создало Резерфорду репутацию.

В 1891 г. студенты организовали маленькое научное общество, в котором Резерфорд еще совсем молодым человеком делает доклад «Об эволюции материи». В этой работе он высказал для того времени совершенно революционные мысли: он утверждал тогда, что все атомы состоят из одних и тех же составных частей. Этот доклад был встречен очень неодобрительно, и ему пришлось извиниться перед обществом.

Надо сказать, что тогда, в 1891 г., у Резерфорда не было никаких данных для такого утверждения. Радиоактивность была открыта лишь в 1896 г., и со времени Дальтона атом рассматривался как нечто неизблемое. Но смелость Резерфорда, высказавшего такую мысль, правильность которой он экспериментально доказал через 12 лет, очень показательна.

В 1894 г. он кончает университет и, получив так называемую стипендию 1851 года, уезжает в Англию — в Кембридж. «Стипендия 1851 года» — это самая крупная стипендия, которую можно получить в Англии молодому ученому, и она полностью обеспечила научную работу Резерфорда на 2—3 года.

1895 год был годом реформ в Кембриджском университете. До этого года в исследовательских лабораториях Кембриджа не могли работать студенты, окончившие

273

другие университеты. Но по инициативе Дж. Дж. Томсона было решено этот порядок изменить и дать возможность студентам, окончившим другие университеты, продолжать научную работу в кембриджских лабораториях.

Резерфорд был одним из первых молодых ученых, которые воспользовались этим изменением. Он записался в Кавендишскую лабораторию, руководимую Дж. Дж. Томсоном. Вместе с ним туда также поступили Мак-Леннан, Таунсенд и Ланжевен. Резерфорд в продолжение своего пребывания в Кавендишской лаборатории работал в одной комнате с Ланжевенем и очень с ним подружился. Дружба двух ученых, начавших вместе свою научную деятельность, была самой тесной и неразрывной до самой смерти Резерфорда.

В Кембридже Резерфорд начал с того, что продолжал свои работы по радиопередаче. Он устанавливает радиосвязь между лабораторией и обсерваторией, т. е. на расстоянии больше двух километров. Он первый в те времена передавал радиосигналы на такое большое расстояние. Надо думать, что, продолжай он эти работы, он ушел бы очень далеко, но его не привлекало практическое решение этого вопроса. В то время его начинает интересовать другой вопрос — об ионизации газов рентгеновскими лучами, природа которых в то время еще не была известна. Он начал работать вместе с Дж. Дж. Томсоном; ими было установлено такое явление, как ток насыщения при ионизации. Эту работу, опубликованную в 1896 г., можно считать основной по этому вопросу.

Как раз во время этой работы, в 1896 г., Беккерель открыл радиоактивность. Резерфорд увлекся этим явлением и стал его изучать. Он первый показал, что радий испускает два рода лучей (он назвал их α -лучи и β -лучи), которые разнятся по своей способности проникать через материю. Он показал, что эти лучи отличаются от обычного лучеиспускания.

В 1897 г. Резерфорд — уже молодой ученый с известной репутацией. В том же году он получает приглашение занять кафедру физики в университете города Монреаля в Канаде, уезжает туда и в продолжение 10 лет (с 1897 по 1907 г.) работает в Канаде. Эти годы, проведенные в маленьком провинциальном университете, были годами его плодотворнейшей работы. Мне кажется,

274

это особенно поучительно для молодых ученых. Часто приходится слышать от молодых, начинающих ученых жалобы на то, что они не могут работать потому, что нет подходящих условий, нет подходящей лаборатории, нет того, нет другого. А теперь представьте себе молодого ученого, попадающего на другой конец света от своей родины, совершенно изолированного от всего научного мира, куда в те времена и журналы приходили с опозданием больше месяца. Но этот человек полон идей, полон энтузиазма и в этом далеком уголке мира он создает самые передовые, самые революционные, самые ведущие взгляды в науке того времени. Он привлекает этим молодых ученых всего мира, и к нему начинают уже съезжаться ученики.

Работа Резерфорда в Канаде ознаменовалась целым рядом крупнейших открытий. Им была открыта эманация тория. Вместе с Резерфордом там же работал в то время молодой химик Содди, и с ним Резерфорд начал изучать химический характер элементов, получаемых при радиоактивном распаде, так как было очень важно установить наряду с физическими и химические особенности радиоактивного процесса. В то время радиоактивность еще не была понята, и Резерфорд вместе с Содди были первыми, кто доказал, что это есть спонтанный переход одних элементов в другие, называемый теперь радиоактивным распадом. При этом испускаются либо α -лучи, состоящие из быстро летящих атомов гелия с положительным зарядом, либо β -лучи — быстро летящие электроны. На основании этого Резерфорд предполагал, что эманация тория есть элемент, отличный от самого тория. Вместе с Содди он по диффузии определил атомный вес эманации и показал, что она соответствует благородному газу.

Теория радиоактивного распада, выдвинутая Резерфордом и Содди в 1903 г., произвела революцию. Когда Резерфорд говорил об эволюции материи еще студентом в 1891 г., в студенческом кружке, он не имел на это никаких оснований, но теперь, когда он это доказал на основе чисто опытных данных, это произвело колоссальное впечатление не только в узком кругу его университета, но и на ученых всего мира. Но все же этот взгляд был тогда настолько революционен, что многие, далее очень крупные, ученые его не разделяли. Кельвин так и умер, не согласившись с тем, что радиоактивность

275

есть распад атомов элементов, которые он считал незыблемой основой строения материи.

В этом же году, 32 лет, Резерфорд был выбран в Королевское общество (научное общество, эквивалентное нашей Академии наук). Но это не исключительный случай в английской академии. Там обычно ученого выбирают сразу же после того, как он достиг крупного успеха в научной работе, и потому нередки случаи избрания молодых ученых 25—28 лет. В этом большая сила английской академии, делающая ее активным научным центром, и этим она выгодно отличается от академий других стран.

В 1907 г. освобождается кафедра физики в Манчестере — в одном из крупных университетов Англии. В XIX в. эту кафедру занимали такие ученые, как Дальтон, Джоуль и др. Резерфорд переезжает туда. И в период с 1907 по 1919 г., находясь в Манчестере, он делает целый ряд не менее крупных работ, чем в Монреале. Из его работ этого периода надо отметить работу по рассеянию α -частиц при прохождении через вещество. Она привела к тому, что Резерфорд установил новую модель атома, принятую до сих пор.

В 1908 г. за свои работы он получает Нобелевскую премию по химии. В 1919 г. он открывает искусственную дезинтеграцию вещества и показывает, что в природе существует не только спонтанный распад радиоактивных элементов, но можно вызвать и искусственное разложение ядра под влиянием бомбардировки α -лучами. Это было открыто на азоте, а потом проверено на ряде других легких элементов. Таким образом, он создает совершенно новую область ядерной физики — искусственный распад атома.

Так же, как и в Канаде, в Манчестере он привлекает к себе целую плеяду молодых ученых. С ним работают не только англичане, но и немец Гейгер, датчанин Бор и другие, и в его лаборатории его учениками делается ряд выдающихся работ.

В 1919 г. Резерфорд получает кафедру в Кембридже, едет туда и весь остаток своей жизни проводит в Кембридже директором Кавендишской лаборатории, оставленной Дж. Дж. Томсоном, который ушел в отставку. Здесь он продолжает работу по искусственному разложению элементов. Он руководит работами своих учеников, и в его лаборатории делаются два из самых

276

крупных открытий ядерной физики за последнее десятилетие— открытие нейтрона Чадвиком и работа Кокрофта и Уолтона по искусственному разложению вещества под влиянием бомбардировки пучком протонов, ускоренных искусственным путем.

Мы видим, что, начав свои экспериментальные работы по радиоактивности в 1896 г., Резерфорд затем их неуклонно развивает, и к концу его жизни эта область знания принимает такие размеры, что представляется нам уже в виде отдельной науки — ядерной физики.

Для того чтобы понять значение каждого открытия Резерфорда, надо представить себе тот исторический фон, на котором они происходили. Эта задача чересчур широкая для такого доклада, как мой. Но очень поучительно на отдельных примерах проследить те методы, которыми Резерфорд вел свою научную работу и которыми он достигал таких крупных результатов.

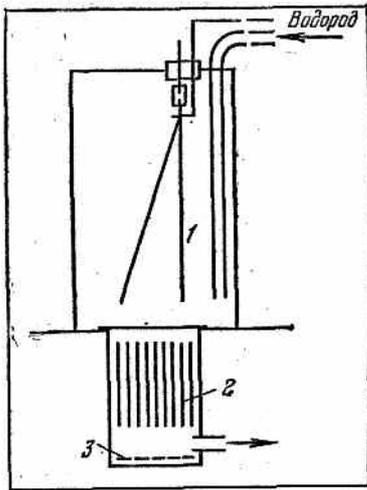
Резерфорд был экспериментатором и в этом отношении напоминает Фарадея. Он мало пользовался формулами и мало прибегал к математике. Иной раз, пытаясь вывести при своих докладах формулу, он путался и тогда просто писал результат, замечая:

— Если все вывести правильно, то так и получится.

Но экспериментом он владел исключительно. Можно сказать, что он «видел» явление, над которым работал, хотя бы оно и происходило в неизмеримо малом ядре атома.

Если говорить очень схематично, то среди физиков существуют как бы два типа исследователей. Один — это тип скорее немецкой школы, когда экспериментатор исходит из известных теоретических предположений и старается их проверить на опыте. Другой же тип ученого, скорее английской школы, исходит не из теории, а из самого явления — изучает его и смотрит, может ли это явление быть объяснено существующими теориями. Тут изучение явления, его анализ являются основным мотивом для экспериментатора. И если такое деление возможно, Резерфорд был ярким представителем этого второго направления в экспериментальной физике. Главное для Резерфорда было — разобраться, понять явление. Эксперимент должен быть так построен, чтобы было ясно, в чем состоит явление. Для этого точность и сложность измерений должны быть как раз таковы, чтобы можно было разобраться и понять явление.

277

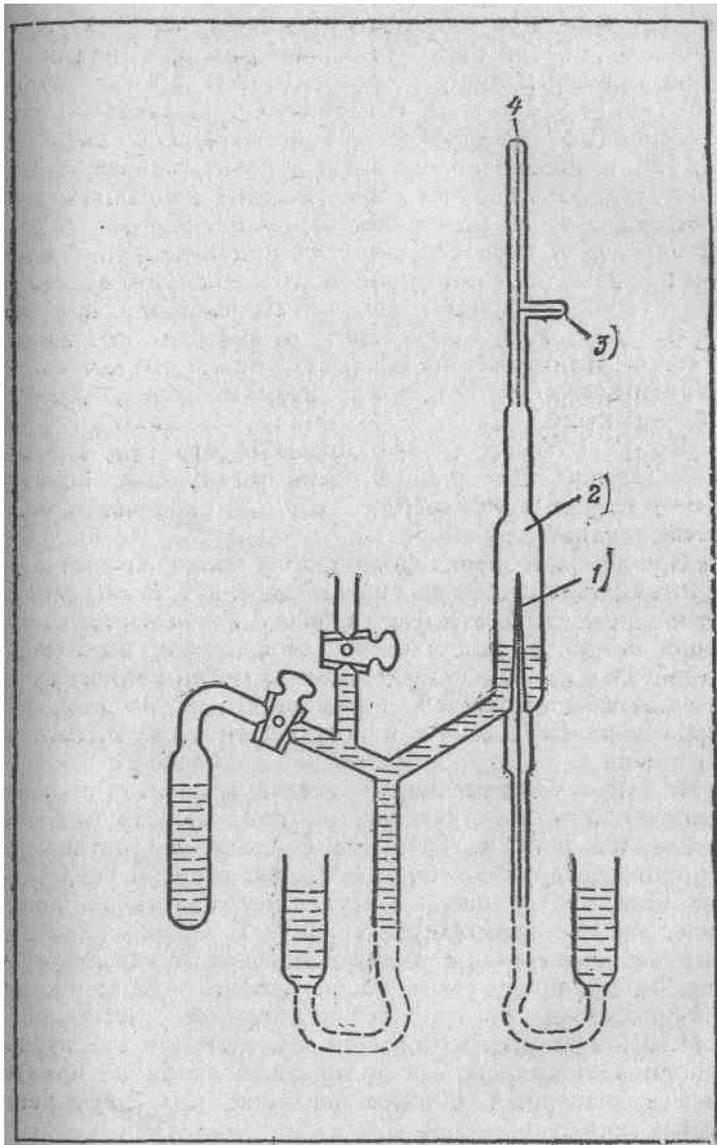


Как пример и приведу случай с изучением α -частиц. Радий испускает α -частицы. Резерфорд показал в самом начале своих опытов, что они не являются обычным лучеиспусканием. Но что же все-таки они собой представляют?

Резерфорд решил, что, если они вылетают из радия, они должны быть каким-то уже существующим элементом. Для того чтобы узнать — каким, надо только определить массу, а массу нужно определить лишь настолько точно, чтобы увидеть, какому из существующих элементов она соответствует. Резерфорд ставит эксперимент, который очень характерен для него. Опишу этот эксперимент, хотя он имеет только историческое значение, так как теперь для определения массы α -частиц пользуются более точными и сложными методами. Но первоначальный метод Резерфорда поражает своей простотой и тем, как прямо он вел к цели.

На рисунке изображен прибор для этих опытов. Простой электроскоп /, сделанный из листков золотой фольги, помещен над 20 параллельно поставленными металлическими пластинками 2. Зазор между пластинками только 1 мм, чтобы α -лучи, испускаемые радиоактивной солью 3 (положенной на дне), проходили в камеру электроскопа параллельным пучком. Чтобы удалять эманацию и увеличивать пробег α -лучей, через прибор пропускался водород.

Прикладывая сильное магнитное поле, направленное параллельно плоскостям пластинок 2, можно было почти полностью прекратить ионизацию в камере электроскопа. Таким простым способом Резерфорд показал, что α -лучи представляют собой быстро двигающиеся заряженные частицы. Прикрывая со стороны электроскопа половину зазоров между пластинками, можно было показать, что при одном направлении магнитного поля ионизация



прекращается при меньших силах поля, чем при другом направлении. Так было установлено направление отклонения α -лучей магнитным полем и отсюда выведено, что знак заряда α -частиц положителен. Создавая между пластинками 2 электрическое поле, поочередно присоединяя их к противоположным полюсам батареи, Резерфорду удалось получить прекращение ионизации и отклонение α -лучей электрическим полем. Из этих данных он определил скорость α -частиц и показал также, что они представляют поток положительно заряженных атомов с большей массой, чем атомы водорода, и с точностью до 10 % определил отношение их заряда к массе. Это отношение указывало на то, что α -частицы, по-видимому, соответствуют атомам гелия, дважды ионизованным.

Но надо было точнее доказать, что это действительно гелий. Эта работа была предпринята позднее, в 1909 г., уже в Манчестере, когда он располагал большими запасами радия.

Прибор для этих опытов был тоже чрезвычайно прост. Он изображен на рисунке на с. 279. В маленькую стеклянную тонкостенную трубочку 1 помещалась эманация радия. Толщина стенок этой трубки была всего лишь 0,01 мм, и быстрые α -частицы могли проходить через стекло, в то время как эманация была изолирована. Эта трубка помещалась в стеклянный сосуд 2, оканчивающийся капиллярной разрядной трубочкой с электродами 3 и 4. Посредством поднятия и опускания ртути в сосуде 2 в пространстве, окружающем трубочку 1, создавался вакуум. Трубочка с эманацией оставалась в приборе в продолжение двух дней, а потом газ, образованный проходящими α -частицами, сжимался поднятием ртути в разрядную трубку. При свечении газа в

трубке были видны желтые гелиевые линии, которые доказывали присутствие гелия. Что этот гелий не, продиффундировал из трубочки с эманацией, легко показывалось контрольным опытом, при котором эта трубка наполнялась гелием. Тогда гелиевые линии не появлялись в спектре. Так было показано, что α -лучи есть атомы гелия.

Эти два описанных мной опыта исключительно просты, их свободно может сделать любой студент. Но в то же время эти опыты, так правильно поставленные, так прямо ведущие к цели, решали в тот период вопрос

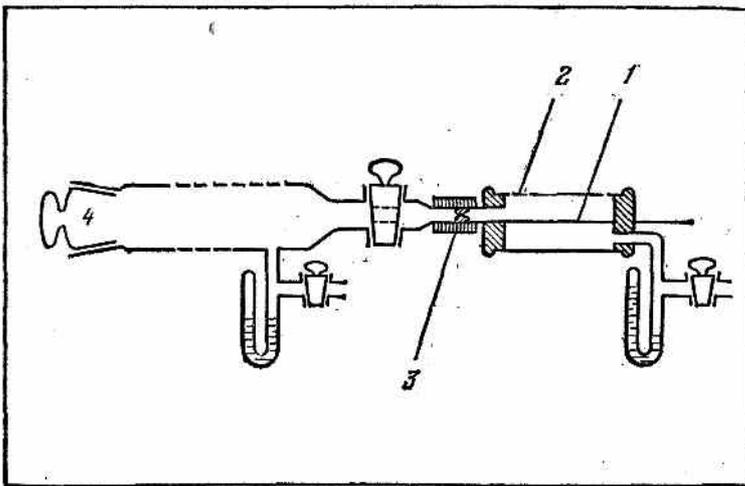
280
первостепенной важности и произвели революцию во взглядах на материю.

Резерфорда не удовлетворяло изучение пучка α -лучей по наблюдению производимой ими ионизации, и он искал метод, каким он мог бы обнаружить отдельные α -частицы. Первое найденное им решение основывалось на методе сцинтилляций.

Еще Крукс заметил, что под влиянием бомбардировки положительными лучами некоторые вещества светятся— люминесцируют. Наиболее ярко светящимся веществом оказалась цинковая обманка. Когда Резерфорд вместе с Гейгером поместили цинковую обманку под микроскоп и направили на нее пучок α -лучей, то вместо того, чтобы видеть в поле зрения микроскопа ровный светящийся фон, они увидели отдельные вспыхивающие точки. Они заключили, что вспышки происходят в тех местах, где α -частицы ударяют о цинковую обманку. Так можно было определить число испускаемых α -частиц по счету вспышек, возникающих в цинковой обманке.

Другой способ обнаружения α -частиц, открытый Резерфордом, благодаря изобретению усилительных ламп стал теперь еще более могущественным, чем счет сцинтилляций,— это метод счетчика. Этот метод основан на явлении, открытом Таунсендом. Если в газе при пониженном давлении находится острие, то можно подобрать такой потенциал, при котором еще не возникает разряд. Если теперь в окружающем газе произвести даже самую слабую ионизацию хотя бы одной α -частицей, то разряд сразу возникнет на некоторый промежуток времени. В 1908 г. Резерфорд и Гейгер построили первый счетчик, работающий на этом принципе. Он изображен на рисунке. Вместо острия они взяли тонкую проволочку 1, помещённую в цилиндрический сосуд 2. Между проволочкой и цилиндром создавался критический потенциал. Через отверстие 3, закрытое очень тонким слюдяным листком, могут проникать α -лучи, источник которых находится в сосуде 4. Разрядные токи от проволочки регистрируются струнным гальванометром, по отбросам которого можно считать α -частицы. Теперь в счетчике, изобретенном Резерфордом и Гейгером, струнный гальванометр заменяется ламповым усилителем, что делает счетчик чрезвычайно чувствительным. В современном своем виде он является одним из основных приборов,

281



посредством которых только и стало возможным полное изучение космической радиации.

Имея возможность считать α -частицы, Резерфорд стал изучать целый ряд явлений, которые прежде не поддавались исследованию.

В 1910 г. к нему в лабораторию приехал работать молодой ученый по имени Марсден. Он попросил Резерфорда дать ему какую-нибудь очень простую задачу. Резерфорд поручил ему считать α -частицы, проходящие через

вещество, и найти их рассеяние. При этом Резерфорд заметил, что, по его мнению, Марсден ничего особенного не обнаружит. Свои соображения Резерфорд основывал на принятой в то время модели атома Дж. Дж. Томсона. В соответствии с этой моделью атом представлялся сферой размером 10^{-8} см с равномерно распределенным положительным зарядом, в которую были вкраплены электроны. Гармонические колебания последних определяли спектры лучеиспускания. Нетрудно показать, что α -частицы должны были легко проходить через такую сферу, и особенного рассеяния их нельзя было ожидать. Вся энергию на своем пути α -частицы тратят на то, чтобы выбивать электроны, т. е. ионизовать окружающие атомы.

Марсден под руководством Гейгера стал делать свои наблюдения и скоро заметил, что большинство α -частиц

282
проходит через вещество, но все же существует заметное рассеяние, а некоторые частицы как бы отскакивают назад. Когда это узнал Резерфорд, он сказал: «Это невозможно. Это так же невозможно, как для пули невозможно отскочить от бумаги».

Эта фраза показывает, как конкретно и образно он видел явление.

Марсден и Гейгер опубликовали свою работу, а Резерфорд сразу решил, что существующее представление об атоме неправильно и его надо в корне пересмотреть.

Изучая закон распределения отразившихся α -частиц, Резерфорд постарался определить, какое распределение поля внутри атома необходимо, чтобы объяснить закон рассеяния, при котором α -частицы могли бы даже возвращаться обратно. Он пришел к выводу, что это возможно тогда, когда весь заряд сосредоточен в центре, а не распределен по всему объему атома. Размер этого центра, названного им ядром, очень мал: 10^{-12} — 10^{-13} см в диаметре. Но куда же тогда поместить электроны? Резерфорд решил, что отрицательно заряженные электроны надо распределить кругом — они могут удерживаться благодаря вращению, центробежная сила которого уравнивает силу притяжения положительного заряда ядра. Следовательно, модель атома есть не что иное, как некая солнечная система, состоящая из ядра — солнца и электронов — планет. Так он создал свою модель атома.

Эта модель встретила полное недоумение, так как она противоречила некоторым тогдашним, казавшимся незыблемыми, основам физики. Резерфорд, конечно, понимал, что на основе максвелловской теории электроны, вращаясь вокруг центра, неминуемо должны испускать свет, терять свою кинетическую энергию и рано или поздно упасть на ядро. Идти вразрез с основами максвелловской теории в то время было чрезвычайно трудно. Поэтому модель атома Резерфорда вначале не была признана.

Так продолжалось два года. В это время к Резерфорду приехал работать молодой датский ученый Нильс Бор. Они часто обсуждали эту модель атома. Для Бора также было ясно, что принципы строения этой модели не находятся в соответствии с теми законами, которые было принято тогда считать основными. И Бор начал работать над этим парадоксом. Он верил в эксперимен-

283

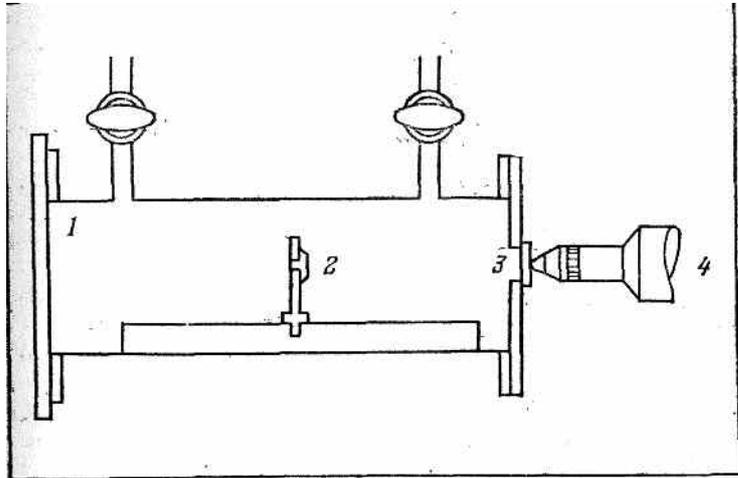
тальную обоснованность модели Резерфорда, но надо было найти ей теоретическое обоснование. Ему пришла гениальная мысль применить для этого обоснования только тогда появившиеся идеи квантовой теории излучения. Они были выдвинуты сперва Планком и значительно обобщены Эйнштейном.

В 1913 г. Бор дает обоснование модели атома Резерфорда, которая теперь носит название модели Бора — Резерфорда и является той основой, на которой покоится вся современная атомная физика.

Одной из основных черт Резерфорда при его экспериментировании была исключительная наблюдательность, умение обобщить явление, выяснить самое важное, самое нужное. Это можно проследить на ряде примеров. Когда он открыл emanation тория, то он исходил из наблюдения разницы в ионизации, производимой торием при открытой и закрытой дверце электроскопа. Казалось, что поток воздуха, проходящий через препарат, изменяет радиоактивность самого тория. Резерфорд стал собирать этот воздух и сразу обнаружил, что он сам радиоактивен. Это и было открытием emanation. Большинство ученых, увидя разницу, начали было изучать явление либо при закрытой, либо при открытой дверце. Резерфорд же сразу ставит вопрос, почему это явление происходит так, а не иначе, и сейчас же старается уяснить себе, в чем тут дело. Вот этот неизменно возникающий вопрос «почему?» и таил в себе ключ к великим открытиям.

Вот другой случай. Его замечательная наблюдательность проявилась и при открытии искусственного разложения вещества. Дело в том, что когда наблюдали сцинтилляции, то часто оказывалось, что из бомбарди-

руемого вещества вылетают лучи с очень длинным пробегом— гораздо более длинным, нежели пробег бомбардирующих α -частиц. Их наблюдали все, часто о них говорили, но никто не пытался их объяснить, никто не задавал себе вопроса «почему?». Резерфорд решил, что это явление надо проанализировать и попытаться выяснить, в чем дело. Вскоре объяснение было найдено. Оказалось, что под влиянием бомбардировки α -лучами атомы азота, всегда присутствующего в воздухе, распадаются. Этим и Объяснялись длинные пробеги. Резерфорд поставил свои опыты исключительно просто: На рисунке на с. 285 изображен его прибор. Герметическую



камеру 1 через два крана можно заполнить газом при различных давлениях (2 — источник α -частиц, 3 — экран, на котором наблюдают сцинтилляции с помощью микроскопа 4). Экран со стороны источника α -частиц покрыт серебряной пластинкой, которая поглощает значительную часть энергии их пробега. Наполняя камеру 1 азотом, Резерфорд наблюдал, что при некотором давлении большинство сцинтилляций пропадает. Это происходит тогда, когда α -частицы, испускаемые радиоактивным источником, тратят всю энергию на ионизацию воздуха и не доходят до экрана. Но остающиеся сцинтилляции указывали на присутствие очень малого количества α -частиц с пробегом в несколько раз больше пробега α -частиц, испускавшихся источником. Если вместо азота взять другой газ, например углекислоту или кислород, то таких остаточных сцинтилляций не появляется. Единственное объяснение в том, что они появляются из азота. Так как энергия остаточных α -частиц больше, чем первичных, то они могут появляться только за счет разложения ядра атома азота. Так было доказано разложение азота и принципиально решена задача алхимии.

Такая простота постановки вопроса, так просто экспериментально оформленная, не может не поразить любого исследователя, не только физика, Подобная

285

простота является исключительно гениальной, в особенности когда она ведет к таким поразительным результатам.

Многие говорят, что Резерфорд обладал исключительной интуицией — он как бы чувствовал, как сделать опыт и что искать. Под интуицией обычно подразумевается какой-то бессознательный процесс, который идет внутри человека,— это то, чего нельзя объяснить, что подсознательно приводит к правильному решению. Я лично думаю, что, может быть, это отчасти и правда, но во всяком случае это сильно преувеличено. Для обычного читателя просто неизвестно то колоссальное количество работы, которое производит ученый. Он узнает только ту часть, которая ведет к определенным результатам. Наблюдая Резерфорда вблизи, можно было видеть, какое колоссальное количество работы он выполнял. Его энергия и энтузиазм были неисчерпаемы. Он все время работал и все время искал чего-то нового. Резерфорд публиковал и доводил до сведения своих товарищей ученых только работы с положительными результатами, и вряд ли они составляли больше нескольких процентов той громадной работы, которую он проводил; остальное не только не было опубликовано, но вообще оставалось неизвестным даже его ученикам. Иногда только по отдельным намекам, прорывавшимся в разговоре с ним, можно было уловить, что он нечто пробовал, но у него не вышло. Он не любил говорить о проектах своих работ и охотнее говорил только о том, что уже сделано и дало результаты.

Одним из блестящих примеров его исключительной проницательности является открытие нейтрона. Нейтрон — это материальная частица, по массе равная ядру водорода, но не несущая никакого заряда. Экспериментальное доказательство существования такой частицы было сделано Чадвиком — ближайшим учеником Резерфорда — в Кембридже в 1932 г. За это открытие Чадвик получил Нобелевскую премию. Он изучал одно явление, при котором в результате бомбардировки бериллия γ -лучами полония получились чрезвычайно проникающие лучи. Ему удалось показать, что это не были γ -лучи. Впервые эта радиация была обнаружена Боте и исследована затем супругами Жолио-Кюри, но объяснить ее удалось только Чадвику, который доказал, что в данном случае мы имеем дело с нейтронами. От-

286

крытие нейтрона играет огромную роль в современной ядерной физике, так как нейтрон является одной из основных элементарных частиц, из которых построены ядра всех элементов. Оказывается, что Резерфорд за 12 лет до открытия нейтрона чрезвычайно подробно предсказал возможность его существования. Вот выдержка из лекции Резерфорда в Королевском обществе, прочитанной в 1920 г.:

«Если мы правы в этом предположении, — говорил Резерфорд, — то очень вероятно, что один электрон может связывать два ядра водорода или, что также возможно, одно ядро водорода. В первом случае это влечет за собой возможность существования атома с массой, равной почти 2, и с одним зарядом, который должен рассматриваться как изотоп водорода. В другом же случае это приводит к мысли о возможности существования атома, масса которого 1 и ядерный заряд 0.

Такое атомное образование не представляется невозможным. Современные взгляды таковы, что нейтральный атом водорода рассматривается как ядро с единичным зарядом, к которому на некотором расстоянии присоединен электрон, и спектр водорода объясняется движением этого удаленного электрона. При некоторых условиях, однако, электрон может быть связан с ядром водорода сильнее, образуя нечто вроде нейтрального дублета. Такой атом имел бы новые свойства. Его внешнее поле было бы практически равно нулю повсюду, за исключением области, прилегающей непосредственно к ядру. И по этой причине он мог бы свободно проходить через вещество. Его присутствие было бы трудно уловимо спектроскопом, и, вероятно, его было бы невозможно сохранить в закрытом сосуде. С другой стороны, он должен был бы свободно входить в структуру атомов и мог бы или соединяться с ядром, или быть разложенным его сильным полем, результатом чего возможен был бы вылет заряженного атома водорода или электрона или же их обоих».

Таким образом, Резерфорд задолго предсказал все те основные моменты, по которым стала развиваться вся ядерная физика после открытия Чадвика и Жолио-Кюри.

Я не назвал бы этот процесс интуицией. Это процесс глубокого мышления и глубокого экспериментирования. Мы все знали, что Резерфорд сам искал нейтрон — он

287

искал его долго и настойчиво, но не нашел его там, где искал. В этой ситуации много зависело от случая. Почему надо было выбрать бериллий и полоний, а не другие вещества — этого нельзя было предвидеть теорией. Тут надо было просто упорно искать...

Смерть Резерфорда — очень тяжелый удар для ученых всего мира. В нем наука потеряла величайшего со времен Фарадея пионера физических исследований. В продолжение всей своей жизни, столь плодотворной научными открытиями, он работал над самыми фундаментальными проблемами современной теории атома. Его можно рассматривать не только как создателя новой главы в науке, но и как создателя целой новой науки — физики ядра.

Уже с 1896 г., совсем молодым человеком, он начал изучать радиоактивность, которая только была открыта, и с тех пор его работа, продолжавшаяся 40 лет, каждый год давала человечеству новые открытия и новые идеи, которые были руководящими в атомной физике во всем мире.

Его влияние на международную науку значительно усилилось благодаря большому количеству учеников всех национальностей, в том числе ряда советских ученых, которые работали в лаборатории Резерфорда. Его самоотверженность и необычайная индивидуальность заслужили с их стороны не только уважение и восхищение, но также и глубокую любовь. Так была создана вокруг него самая крупная школа физиков, которая когда-либо существовала. И мы легко понимаем, почему его смерть ощущалась многими учеными как большая личная потеря.

МОИ ВОСПОМИНАНИЯ О РЕЗЕРФОРДЕ

Доклад на заседании

в Лондонском Королевском обществе

1966

Передо мной стоит очень трудная задача, хотя, казалось бы, говорить о научных достижениях такого великого ученого, как Эрнест Резерфорд, легко и просто. Ведь чем крупнее достижения ученого, тем короче и точнее можно их описать, Резерфорд создал современное

288

учение о радиоактивности, первым поняв, что это— спонтанный распад атомов радиоактивных элементов, он первый произвел искусственный распад ядра и, наконец, первый определил планетарную структуру атомов. Каждого из этих достижений вполне достаточно, чтобы человека признать великим физиком. Теперь же эти достижения и их фундаментальное значение хорошо известны не только студенту, но и школьнику. Все мы также знаем те необычайно простые и красивые классические эксперименты, которыми Резерфорд так убедительно делал свои открытия. Приезжать из Советского Союза, чтобы рассказывать членам Королевского общества обо всем этом, вряд ли было бы целесообразно.

Общеизвестно, что из учения о радиоактивности сейчас возникла самостоятельная наука, которая названа ядерной физикой. Эта наука сейчас непрерывно развивается, и из всех работ, печатающихся по всем областям физики, одна пятая часть относится к ядерным явлениям.

В наши дни продолжают очень быстро развиваться •как ядерная энергетика, так и использование искусственной радиоактивности в науке и технике. Все эти области поглощают основную часть расходуемых на науку средств, которые, как известно, теперь достигают сумм в миллиарды фунтов стерлингов, долларов и рублей. Все это за 30 лет родилось из той скромной области физики, которую тогда называли радиоактивностью и отцом которой справедливо считают Резерфорда.

Проследить, как произошло это развитие ядерной •физики из идей Резерфорда и его школы,— очень интересно и поучительно, но я уверен, что такие члены Королевского общества, как его президент профессор Блэкетт, сэр Джеймс Чадвик, сэр Джон Кокрофт, сэр Чарльз Эллис и сэр Марк Олифант, вышедшие из •школы Резерфорда и сделавшие в этой области фундаментальные открытия и работы, конечно, могли бы с большим основанием, чем я, говорить об этих вопросах.

Единственное, что я могу сделать и чем могу удовлетворить интерес членов Королевского общества,— это рассказать о самом Резерфорде, каким я его воспринимал за время моего пребывания в Кавендишской лаборатории, рассказать, как он работал, как он воспитывал нас, молодых ученых, и как происходило его общение с научным миром.

289

Итак, передо мной стоит задача нарисовать портрет крупного ученого и большого человека, хотя это дело художника пера и ученому не следует браться за него. Если я все же решился это сделать, то главным образом по следующим причинам. Я приехал в Англию, в Кавендишскую лабораторию, никому не известным молодым человеком и там за 13 лет вырос в ученого. Эти годы моей работы были наиболее счастливыми, и в том, чего мне удалось добиться, я чувствую себя обязанным неизменной заботе и вниманию, которые мне оказывал Резерфорд не только как учитель, но и как замечательно добрый и чуткий человек, которого я полюбил и с которым у меня с годами возникла большая дружба. Выступить сейчас перед вами со своими воспоминаниями — это единственный способ, которым я могу выразить свою благодарность этому большому и замечательному человеку.

Хорошо известно, что Резерфорд был не только большой ученый, но и большой учитель. Я не могу вспомнить другого ученого, современника Резерфорда, в лаборатории которого воспитывалось бы столько крупных физиков. История науки показывает, что крупный ученый— это не обязательно большой человек, но крупный учитель не может не быть большим человеком. Поэтому моя задача становится еще более трудной: мне нужно будет дать вам портрет не только ученого, но и человека. Я постараюсь нарисовать портрет Резерфорда по возможности более живым и буду иллюстрировать рассказ эпизодами, которые врезались в мою память; их много, но я выбрал те из них, которые характеризуют какую-нибудь отдельную черту Резерфорда. Я надеюсь, что это поможет вам создать в вашем воображении из этих фрагментов образ Резерфорда.

Я начну свои воспоминания с небольшого эпизода, имевшего место в 30-е годы в Кавендишской лаборатории. В Кембридже проходил конгресс в память столетия со дня рождения Максвелла — первого директора Кавендишской лаборатории, где после него директорами были Рэлей, Дж. Дж. Томсон и, наконец, Резерфорд — четыре великих физика конца прошлого и начала этого столетий.

После торжественного заседания, где выступили ученики Максвелла, делившиеся с нами воспоминаниями, Резерфорд спросил меня, как мне понравились доклады.

290

Я ответил: «Доклады были очень интересны, но меня поразило, что все говорили о Максвелле только исключительно хорошее и представили его как бы в виде сахарного экстракта. А мне хотелось бы видеть Максвелла настоящим живым человеком, со всеми его человеческими чертами и недостатками, которые, конечно, есть у человека, как бы гениален он ни был». Резерфорд рассмеялся и сказал, что поручает мне после его смерти рассказать будущему поколению о том, каким он сам был в действительности. Резерфорд говорил это полушутя, и я тоже смеялся.

Теперь, когда мне хочется выполнить этот завет, то, начиная рисовать себе образ Резерфорда, чтобы представить его перед вами, я вижу, что время поглотило все мелкие человеческие недостатки и передо мной встает великий человек поразительного ума и высоких душевных качеств.

Теперь я хорошо понимаю учеников Максвелла, которые выступали тогда в Кембридже.

О Резерфорде-ученом уже много говорилось и писалось. Общепризнанно, что простота, ясность мышления, большая интуиция и большой темперамент — основные черты его творческой личности. Изучая работы Резерфорда и наблюдая, как он работает, приходишь к выводу, что все же главная черта его мышления — это большая независимость и, следовательно, смелость.

Основной путь, по которому развиваются естественные науки, заключается в том, что при экспериментальном изучении явлений природы мы непрерывно проверяем, согласуются ли наши наблюдения с нашими теоретическими представлениями. Движение вперед нашего познания природы происходит тогда, когда между теорией и опытом возникают противоречия. Эти противоречия дают ключ к более широкому пониманию природы, они заставляют нас развивать нашу теорию. Чем крупнее эти противоречия, тем фундаментальнее перестройка тех законов, которыми мы объясняем процессы, происходящие в природе, и на основании которых мы используем природу для нашего культурного развития. В науке, как и в истории, определенный этап развития требует своего гения. Определенный период развития требует людей соответствующего склада мышления.

В истории развития физики, как и в любой экспериментальной науке, наиболее интересны как раз те

291

моменты, когда приходится пересматривать фундаментальные научные концепции, и для этого неизменно ученым требуется не только ум и интуиция, но и смелое воображение.

Как иллюстрацию приведу два хорошо известных примера из истории развития физики, которые произвели на меня наибольшее впечатление. Первый пример — это создание Франклином учения об электричестве. В основу этого учения Франклин положил представление о том, что электричество имеет материальную основу: оно как бы пропитывает металл и может проникать через его сплошную среду. Нам известно, что такое представление в корне противоречило представлению того времени о сплошном характере материи, но оно было принято, поскольку давало механизм, полностью объясняющий явления электростатики, известные в то время. Теперь мы знаем, что оно полностью оправдалось, когда Дж. Дж. Томсон уже 150 лет спустя открыл электрон. Но вот что самое удивительное во всей этой истории: как могло случиться, что Франклин, раньше никогда не занимавшийся физикой, живя на отлете, в небольшом городе Америки, вдали от центров мировой науки, будучи уже человеком зрелого возраста, за несколько лет работы смог верно направить развитие целой научной дисциплины? И это произошло в середине XVIII в., когда наука развивалась на уровне таких ученых, как Ньютон, Гюйгенс, Эйлер. Как же мог Франклин достичь результатов, которые оказались недоступными для профессиональных ученых?

Другой аналогичный случай, когда пришлось пересмотреть на основе опыта фундаментальные представления, тоже хорошо известен. Это учение Фарадея об электрическом поле. Трудно найти более революционную и неожиданную идею, чем выдвинутая Фарадеем, по которой электродинамические процессы должны объясняться явлениями, происходящими в окружающем проводник пространстве. Но я привожу этот пример

опять же потому, что Фарадей был ученым, не имевшим систематического научного образования, которое в те времена было на высоком уровне даже у среднего ученого Англии.

Я привел эти два хорошо известных примера для того, чтобы показать, что в науке, на определенном этапе развития новых фундаментальных представлений, эру-

292

диция не является той основной чертой, которая позволяет ученому решать задачу, тут главное — воображение, конкретное мышление и в основном смелость. Острое логическое мышление, которое особенно свойственно математикам, при постулировании новых основ скорее мешает, поскольку оно сковывает воображение.

Умение ученого решать такого рода крупные научные проблемы, при этом не выявляя четкого логического построения, обычно называют интуицией. Возможно, что существует такой процесс мышления, происходящий в нашем подсознании, но пока его закономерности нам не известны, и, если я не ошибаюсь, даже Фрейд, глубоко разбиравшийся в подсознательных процессах, этой проблемой не занимался. Но если этот мощный процесс творческого мышления называть интуицией, то, конечно, Франклин и Фарадей им полностью владели. Несомненно, владел им и Резерфорд. Поэтому его часто называли Фарадеем наших дней.

Когда в самом начале нашего столетия Резерфорд начал заниматься радиоактивностью, то опыты уже явно выявили противоречия фундаментальнейшему закону природы — закону сохранения энергии.

Объяснение радиоактивности, впервые данное Резерфордом, как распад до того незыблемой материи, сразу дало ключ к пониманию этого явления и направило по верному пути дальнейшие изыскания.

То же произошло при создании им планетарной модели атома. Эта модель в корне противоречила классической электродинамике, так как при орбитальном движении электронов они должны были непрерывно терять свою кинетическую энергию путем излучения. Но эксперимент по рассеянию α -частиц, сделанный учеником Резерфорда Марсденом (1910 г.), однозначно указал на существование тяжелого ядра в центре атома. Резерфорд так ясно себе представлял все происходящее во время столкновения частиц, что для него противоречие даже с фундаментальными законами электродинамики не послужило препятствием для установления планетарной модели атома. Уже несколько позже, в 1913 г., Бор на основании развивавшихся тогда представлений о квантовой структуре света блестяще развил теорию строения атома, которая не только дала полное согласование с планетарной моделью Резерфорда, но

293

количественно объяснила структуру спектров, излучаемых атомом.

Своеобразный характер мышления Резерфорда легко можно было видеть, беседуя с ним на научные темы. Он любил, когда ему рассказывали об опытах. Но чтобы он слушал с интересом (а по его выразительному лицу сразу было видно, слушает он с интересом или скучает), надо было говорить только об основных фактах и идеях, не вдаваясь в технические подробности, которые Резерфорда не интересовали. Когда мне приходилось приносить ему для утверждения чертежи импульсного генератора большой мощности для получения сильных магнитных полей, то он из вежливости клал перед собой синьку, не обращая внимания на то, что она лежала перед ним вверх ногами, и говорил: «Этот чертеж меня не интересует, вы просто укажите те принципы, на которых эта машина работает». Основную идею эксперимента он схватывал очень быстро, с полуслова. Это меня поражало, особенно в первые годы моего пребывания в Кембридже, когда я говорил еще настолько плохо по-английски, что не мог ясно рассказать о своих идеях и опытах, и, несмотря на это, Резерфорд быстро схватывал идею и давал всегда очень интересную оценку.

Резерфорд охотно рассказывал о своих опытах, любил показывать свои установки и эксперименты. Он любил сопровождать рассказ рисунками, для этого у него в жилетном кармане всегда было несколько маленьких огрызков карандашей. Он держал карандаш по-особому, мне всегда казалось — очень неудобным образом, как-то концами трех пальцев. Чертил он слегка дрожащей рукой, рисунок был прост, состоял из небольшого числа штрихов, сделанных с большим нажимом. Довольно часто острие карандаша ломалось, тогда вынимался из кармана другой огрызок.

Многие физики, особенно теоретики, любят научные споры; процесс спора для них — способ мышления. Я никогда не слышал, чтобы Резерфорд спорил. Он высказывал свое мнение очень коротко и с предельной яс-

ностью и конкретностью; если ему возражали, то он с интересом выслушивал возражения, но на этом дискуссия и кончалась.

Я очень любил лекции Резерфорда, я прослушал курс физики, который он читал студентам как кавен-
294

дишский профессор. Я мало что узнал из этого курса нового для себя, так как физику к тому времени знал уже неплохо, но подход Резерфорда к физике меня научил многому. Резерфорд читал с большим увлечением, математикой он почти не пользовался, явления он обычно описывал диаграммами и сопровождал лекцию четкими, но скупыми жестами, из которых было видно, как конкретно и образно он мыслит. Но интересным для меня в его лекциях было то, что он нередко менял тему. По плану он должен был читать об одном, но потом, по аналогии, его мысль переходила на другое явление, обычно связанное с каким-либо новым опытом, сделанным в области радиоактивности, и он с увлечением начинал рассказывать о том, что его сейчас занимало. При этом хуже всего приходилось его ассистенту: ему Резерфорд неожиданно предлагал сделать демонстрацию, которая не входила в первоначальный план лекции.

В Кембридже я слушал также факультативный курс лекций Дж. Дж. Томсона для студентов, он говорил о прохождении электричества через газ. Интересно было видеть, как совершенно иначе подходит к восприятию природы этот большой ученый. Если мысль Резерфорда была ближе к индуктивной, то у Томсона мысль, несомненно, была дедуктивной. Мне кажется, что при воспитании молодых ученых им исключительно полезно слушать лекции по общим курсам, которые непременно должен читать большой ученый: они научатся тому, чего ни в одной книге найти не смогут,— оригинальному подходу к пониманию явлений природы.

В связи с этим мне вспоминается беседа с Горайсом Лэмбом, в которой он рассказал мне, как он слушал лекции Максвелла. Он говорил, что Максвелл не был блестящим лектором, он обычно приходил на лекции, без записок и при выводе формулы на доске часто ошибался и сбивался. Вот по тому, как Максвелл искал и поправлял свои ошибки, Лэмб научился большему, чем из любой прочитанной им книги. Самым ценным в лекциях Максвелла для Лэмба были его ошибки. Несомненно, ошибки гениального человека так же поучительны, как и его достижения.

Когда я был в Кембридже, Резерфорд уже сам не экспериментировал, он ставил свои опыты преимущественно с Чадвиком и Эллисом, но всегда принимал в них активное участие. Построение прибора технически
295

осуществлял его лаборант, тогда это был Кроу, с которым он обращался довольно сурово. Но я наблюдал, как он сам, несмотря на легкое дрожание рук, довольно легко обращался с тонкостенными стеклянными трубочками, наполненными эманацией радия.

Хотя опыты Резерфорда вам всем хорошо известны, я не могу все же не сказать несколько слов о них. Конечно, самое привлекательное в них — это ясность в постановке задачи, простота и прямолинейность методического подхода к ее решению. Мой многолетний опыт как экспериментатора показал, что лучший способ правильно оценить ученого, как начинающего, так и полностью развившегося,— это по его естественному стремлению и умению при постановке опыта искать простое решение. К Резерфорду полностью применимо замечательное изречение неизвестного автора: «[La simplicité c'est la plus grande sagesse](#)». Мне хочется также вспомнить удивительно правильное и глубокое высказывание украинского философа Григория Сковороды. Он был крестьянского происхождения и жил во второй половине XVIII в. Он писал очень интересно, но, по всей вероятности, в Англии он неизвестен. Так вот, он примерно сказал следующее: «Мы должны быть благодарны богу, что он создал мир так, что все простое правда, а все сложное неправда».

Все наиболее красивые и простые опыты Резерфорда сводились к изучению законов рассеяния при ядерных столкновениях. Методика наблюдения сцинтилляций и счетчики были разработаны им совместно с Гейгером в 1.908 г. Прошло более полувека, и этот метод вместе с камерой Вильсона, созданной в то же время, остаются основными методами для изучения ядра и ядерных процессов. Теперь только прибавляют оптические и резонансные методы определения ядерных моментов, но по существу вся ядерная физика не располагает большими методическими возможностями, чем те, которые были использованы во времена Резерфорда и которые в основном все были найдены им и его сотрудниками.

Современное развитие ядерной физики происходит не в результате возникновения новых методических возможностей изучения ядерных процессов, а благодаря

возможности изучения столкновения ядер большого количества различных элементов. Эти столкновения изучаются теперь при больших энергиях главным образом благодаря построению мощных ускорителей. Но и в наши дни ключом к познанию ядра атома остается метод, фундаментальное значение которого впервые было понято Резерфордом, — это изучение процессов соударения ядер. Как говорил Резерфорд: «[Smash the atom](#)».

Но изучение ядерных процессов при столкновении таит в себе по сей день одну большую слабость — это необходимость статистического метода обработки результатов. Хорошо известно, что нужна большая осторожность, чтобы при ограниченном числе статистических данных вывести из них общую закономерность. Как-то, говоря о применении статистики, кто-то сказал: «Существуют три вида лжи: ложь, наглая ложь и статистика». Правда, это было сказано о статистике общественных процессов, но до известной степени это может относиться к применению статистики в физике. Ни в одной области физики не было сделано столько грубейших ошибок и ложных открытий, как при обработке статистических данных, полученных в результате ядерных столкновений. До сих пор почти ежегодно продолжают происходить открытия новых элементарных частиц и резонансных уровней, которые потом оказываются ошибочными.

Резерфорд хорошо знал, какая опасность таится в необъективности интерпретации экспериментальных данных, имеющих статистический характер, когда ученому хочется получить желаемый результат. Обработку статистических данных он проводил очень осторожно; интересен метод, который он применял. Счет сцинтилляций проводили обычно студенты, которые не знали, в чем заключается опыт. Кривые по полученным точкам проводили люди, которые не знали, что должно было получиться. Насколько мне помнится, Резерфорд и его ученики не сделали ни одного ошибочного открытия, в то время как их было немало в других лабораториях. В мое время строгим судьей и очень критическим при обработке статистических результатов Резерфорд считал Чадвика.

Я не работал совместно с Резерфордом, поэтому не видел его работающим в лаборатории. Но я знаю, что до конца жизни он неизменно уделял много времени и сил своей научной работе. Пожалуй, не меньше внимания и сил он отдавал руководству молодежью, которая тогда работала в Кавендишской лаборатории. Детальное руководство работами он обычно передавал одному из своих старших сотрудников, большей частью это был Чадвик, но он всегда сам интересовался как выбором научной тематики, так и методическим подходом к решению поставленных задач.

Пока работающий не начинал получать конкретных результатов, он мало обращал внимания на работу. Мелочной опекой он не занимался. Он часто приходил к нам в лабораторию на короткое время и неизменно делал замечание вроде: «Что вы тут все время топчетесь на одном месте, когда же будут результаты?» Когда я только начал работать в Кавендишской лаборатории, такие замечания на меня производили очень сильное впечатление, в особенности потому, что они делались громким голосом и с суровым выражением лица. Впоследствии я убедился, что это были просто автоматические высказывания; Резерфорд делал их, видимо, по привычке, он унаследовал эту привычку от новозеландских фермеров, которые, приходя на поля, считали необходимым парой «добрых» слов подбодрить работающих на полях батраков.

Что это было действительно так, меня убедил следующий случай, уже происшедший после нескольких лет работы в Кавендишской лаборатории. Как-то надо было пробить капитальную стену, проложить проводку для какого-то эксперимента. Работа была срочная, но случилось так, что в то время была забастовка строительных рабочих и найти каменщика было исключительно трудно. Наконец это удалось. Он взялся сделать работу, но через некоторое время пришел и заявил, что отказывается здесь дальше работать. Когда его спросили, почему, то он ответил, что мимо него два раза проходил джентльмен и оба раза спрашивал его, когда же он возьмется за дело по-настоящему и закончит работу. Эти замечания его сильно обидели. Когда его спросили, кто же был этот джентльмен, то по описанию с несомненностью выяснилось, что это был Резерфорд. Когда Резерфорда упрекнули и обратили его внимание

на то, что в такое время надо деликатно обращаться со строительными рабочими, к нашему изумлению, Резерфорд отрицал, что он вообще что-либо говорил каменщику. Очевидно, когда он понукал нас за безделье в лаборатории, он это тоже делал автоматически, бессознательно. Это был у него условный рефлекс.

Самое замечательное качество Резерфорда как учителя было его умение направить работу, поддержать начинание ученого, правильно оценить полученные результаты. Самое большое, что он ценил в учениках,— это самостоятельность мышления, инициативу, индивидуальность. При этом надо сказать, что Резерфорд применял все возможное для того, чтобы выявить в человеке его индивидуальность.

Я помню, еще в начале моей работы в Кембридже я как-то сказал Резерфорду: «У нас работает X, он работает над безнадежной идеей и напрасно тратит время, приборы и прочее». «Я знаю,— ответил Резерфорд,— что он работает над безнадежной проблемой, но зато эта проблема его собственная, и если работа у него не выйдет, то она научит его самостоятельно мыслить и приведет к другой проблеме, которая уже будет иметь экспериментальное решение». Так оно потом и оказалось. Он многим готов был пожертвовать, чтобы только воспитать в человеке независимость и оригинальность мышления, и если они проявлялись, он окружал его заботой и поощрял его работу.

Как пример умения Резерфорда верно направлять работу своих учеников приведу историю большого открытия, сделанного Мозли. Ее мне рассказал Резерфорд. В 1912 г. Мозли работал у Резерфорда в Манчестере. Это был очень молодой человек, но Резерфорд мне говорил о нем как о своем лучшем ученике. Мозли сразу же сделал небольшую, но хорошую работу, после чего пришел к Резерфорду и рассказал о трех возможных темах работ, которые он хотел бы делать. Одна из них была как раз та классическая работа, которая сделала имя Мозли всемирно известным: установление зависимости длины волны рентгеновских лучей атома от положения его в периодической системе. Резерфорд отметил, что считает эту тему самой важной, и посоветовал Мозли приняться именно за нее. Резерфорд не ошибся — работа оказалась исключительно важной, но

299

Резерфорд всегда отмечал, что идея принадлежала Мозли.

Резерфорд всегда заботился о том, чтобы все, что было у человека своего, было отмечено. Сам он это делал всегда в своих лекциях и работах. Если кто-нибудь при опубликовании своей работы забывал оговорить, что данная идея, собственно, не его, Резерфорд сразу же обращал на это внимание автора.

Резерфорд считал, что начинающему ученому не следует давать технически трудную работу. Для начинающего работника, даже если он и талантлив, нужен успех, не то может произойти необоснованное разочарование в своих силах. Если у ученика есть успех, то надо его справедливо оценить и отметить.

Как-то в одном из откровенных разговоров Резерфорд мне сказал, что самое главное для учителя — научиться не завидовать успехам своих учеников, а это с годами становится нелегко! Эта глубокая истина произвела на меня большое впечатление. Главным свойством учителя должна быть щедрость. Несомненно, Резерфорд умел быть щедрым, это, по-видимому, главный секрет того, что из его лаборатории вышло столько крупных ученых, в его лаборатории всегда было свободно и хорошо работать, была хорошая деловая атмосфера.

Резерфорд прекрасно понимал значение, которое для него самого имели ученики. Для него дело было не только в том, что молодежь всегда поднимает производительность научной работы в лаборатории. Он говорил: «Ученики заставляют меня самого оставаться молодым». В этом глубокая истина, так как ученики не позволяют учителю отставать от жизни, отрицать все новое, что рождается в науке. Как часто мы наблюдаем, что ученые, старея, становятся в оппозицию к новым теориям, недооценивают значения новых направлений в науке. Между тем Резерфорд с легкостью и доброжелательностью воспринимал такие новые идеи в физике, как волновая и квантовая механика, к которым в то время ряд крупных ученых его поколения относились необоснованно скептически. Это обычно случается как раз с теми из ученых-одиночек, у кого нет близких учеников, которыми надо руководить и которых надо двигать вперед.

300

Резерфорд был очень общителен и любил беседовать с приезжими учеными, которых было много. Его отношение к чужой работе обычно было внимательным. В беседе Резерфорд легко оживлялся, любил шутки, при этом легко смеялся. Смех его был искренний, громкий и заразительный. Лицо его было очень выразительно — сразу было видно, в каком расположении духа он находится, озабочен ли он чем-нибудь. Его хорошее настроение выражалось в том, что он добродушно подсмеивался над собеседником: чем больше он подсмеивался, тем

больше он был расположен к человеку. Так он шутил в разговоре с Бором, так он говорил с Ланжевенем, которых особенно любил. В его веселых замечаниях, сказанных самым добродушным образом, часто таилось большее, чем шутка. Помню, как он привел ко мне в лабораторию Милликена и сказал: «Позвольте вас представить Милликену, вы, несомненно, знаете, кто он. Покажите ему установку для получения сильных магнитных полей и расскажите о своих опытах, но вряд ли он будет слушать вас, он сам начнет рассказывать о своих опытах». Потом последовал смех, который значительно менее громко поддержал сам Милликен. После этого Резерфорд нас покинул, и я скоро убедился, что его пророчество оказалось правильным.

Я не буду описывать, как делал Резерфорд научные доклады, мне они всегда очень нравились как по содержанию, так и по форме. Резерфорд придавал большое значение форме доклада и, по-видимому, тщательно к нему готовился. Он меня учил, как надо докладывать в Королевском обществе, и одно из его наставлений я помню до сих пор. «Поменьше показывайте диапозитивов,— говорил он. — Когда темно в зале, слушатели, пользуясь этим, покидают лекцию».

Резерфорда интересовали не только узконаучные вопросы, но и многое в окружающем его мире. Он читал и географические и исторические книги и любил рассказывать о прочитанном. Все он воспринимал с большим темпераментом, всегда извлекая сущность. Впоследствии, когда я стал членом колледжа и когда я провожал Резерфорда домой после воскресного обеда, мы часто дискутировали с ним на политические темы.

В первый день, когда я начал работать в Кавендишской лаборатории, он неожиданно заявил мне, что не допустит, чтобы я занимался коммунистической

301

пропагандой у него в лаборатории. Для меня тогда такое заявление было полной неожиданностью, оно меня и удивило, и поразило, и обидело. Несомненно, оно было следствием тогдашней острой политической борьбы и связанной с ней пропаганды. До приезда в Англию, в России, я был далек от того, что происходило в Европе, я так увлекался своей научной работой, что существовавшая тогда глубокая политическая рознь была мне непонятна. Впоследствии, завершив свою первую научную работу, я преподнес Резерфорду оттиск и сделал на нем надпись, что эта работа — доказательство того, что я пришел к нему работать, а не заниматься коммунистической пропагандой. Он сильно рассердился и вернул мне оттиск. Я это предвидел, и у меня был заготовлен другой оттиск с весьма подобающей надписью, который я и передал ему. По-видимому, Резерфорд оценил мою дальновидность, и инцидент был исчерпан. Для него была характерна быстрая вспыльчивость, но так же быстро он и отходил.

Впоследствии мы много раз беседовали с Резерфордом на политические темы, в особенности нас всех волновал нарастающий фашизм в Европе. Резерфорд был оптимистом и считал, что все обойдется. Но мы знаем, что так не случилось.

У Резерфорда, как и у большинства людей, занимающихся наукой, были прогрессивные взгляды.

Дважды мне пришлось вовлекать Резерфорда в некоторую политическую активность. Первый раз это было в связи с Ланжевенем. Резерфорд в молодости работал с Ланжевенем в Кавендишской лаборатории в одной комнате, и они с самого начала были очень дружны. Конечно, невозможно было не дружить с человеком такого блестящего ума и исключительных душевных качеств, каким был Ланжевен. В Париже мои друзья, ученики Ланжевена, с возмущением говорили мне, что Ланжевена, несомненно самого крупного физика Франции, не выбирают в Парижскую академию из-за его левых убеждений, поскольку он открыто принимал участие в левых организациях, был основателем Лиги прав человека, боролся с антисемитизмом во время процесса Дрейфуса и пр.

Я рассказал Резерфорду о трудности положения Ланжевена во Франции и спросил его, выбирают ли в Англии ученых с такими левыми взглядами, как у

302

Ланжевена, в иностранные члены Королевского общества. Резерфорд сперва сказал что-то непонятное, потом он стал говорить, какой действительно хороший человек Ланжевен, потом вспомнил, что во время войны Ланжевен очень активно наладил придуманную им ультразвуковую связь в воде через Ла-Манш. На этом разговор и кончился. В ближайшие выборы — в 1928г.— Ланжевен был выбран иностранным членом Королевского общества, и это было на много лет раньше, чем его избрали в Парижскую академию.

Второй случай был в начале гитлеризма. Положение таких крупных ученых-физиков, как Штерн, Франк, Борн, и ряда других нас сильно беспокоило в условиях распространяющегося активного антисемитизма. Тогда в Кембридж приезжал ко мне Сцилард, и перед нами встал вопрос, как извлечь этих людей из Германии так, чтобы их отъезд не вызвал подозрений. Я обратился к Резерфорду, и он охотно нам помог, лично послав этим ученым приглашение приехать в Кембридж прочесть лекции.

Самые разнообразные люди интересовали Резерфорда, но особенно любил он людей, которые проявляли индивидуальность. Когда Резерфорд стал президентом Королевского общества, ему часто приходилось ездить на званые обеды и сидеть рядом с крупными общественными, финансовыми и политическими деятелями. Он любил потом рассказывать о разговоре с ними и давать им характеристики. Мне особенно помнится, какое сильное впечатление на него произвел Черчилль. Характеристика, которую он дал ему, была краткой, ясной и правильной. Больше всего мне запомнилось то, что Черчилль тогда уже считал Гитлера реальной опасностью для мира, назвав его человеком, оседлавшим тигра. Возможно, этот разговор несколько изменил оптимистический взгляд Резерфорда на будущее.

Несомненно, понимание и интерес к людям и доброжелательное отношение к ним чувствовали сами окружающие его люди, поэтому другой раз его чересчур прямолинейные высказывания, которые в обществе принято называть нетактичными, полностью компенсировались его добродушием и доброжелательством.

Конечно, правильная оценка людей и понимание их было результатом того, что Резерфорд был тонкий психолог, люди его интересовали, и он хорошо в них

303

разбирался. Его характеристики людей были очень откровенны и прямолинейны. Как и в науке, его описание человека было всегда кратко и очень точно. Неизменно я убеждался, что оно правильно. Возможно, его подход к людям был тоже подсознательным процессом и мог бы быть назван интуицией.

Понимание психологии людей и интерес к ним Резерфорда мне бы хотелось обосновать двумя эпизодами. В Кембридже был небольшой, но передовой театр, в котором как раз шла пьеса Чехова «Дядя Ваня». Оказывается, Резерфорд пошел на спектакль и был им потрясен. Как и во всех произведениях, Чехов решает психологическую проблему, и не простую, но усложненную тем, что все действующие лица — глубоко интеллектуальные люди и поэтому их восприятие мира очень усложнено. В этой пьесе известный профессор гуманитарных наук после отставки приезжает в поместье жены. Дядя Ваня управляет имением и отдает этому всего себя, только чтобы было достаточно средств профессору. Дядя Ваня видит, что профессор — это дутая знаменитость, схоласт и педант. На фоне сложной психологической ситуации дядя Ваня стреляет в профессора, но промахивается. Мне помнится, с какой живостью, простотой и ясностью Резерфорд рассказывал мне ситуацию, его симпатии были целиком на стороне дяди Вани. То, что Резерфорда это увлекало, показывает, что он любил разбираться в психологии людей.

Большое впечатление произвел на меня следующий случай, в котором проявилось умение Резерфорда обращаться с людьми. Я думаю, что прошло достаточно времени и я могу рассказать о случае, который касается очень известного в то время физика — Пауля Эренфеста. Эренфест родился в Австрии, на какой-то экскурсии в горах познакомился с русской женщиной, ученой, последовал за ней в Россию и женился на ней. Там он сделал ряд крупных работ, главным образом по термодинамике, получивших мировое признание. Он получил затем приглашение Лейденского университета занять кафедру физики, которую только что по возрастному цензу освободил великий Лоренц, создатель электронной теории металлов и один из основоположников теории относительности.

В Лейдене Эренфест и его дом сделали одним из центров мировой теоретической физики. Основным ка-

304

чеством Эренфеста был необычайно четкий критический ум. Он был не только удивительным учителем молодежи, которая льнула к нему, его критика считалась очень глубокой, и физики-теоретики, сделавшие крупную работу, неизменно ездили к Эренфесту, чтобы изложить ее. Эренфест всегда заметил бы малейшее противоречие или ошибку. Надо сказать, что Эренфест критиковал очень охотно, делал это с большим темпераментом и даже резко, но всегда очень доброжелательно. Критика эта была настолько серьезна и плодотворна, что к нему ездили Эйнштейн и Бор. Несмотря на разницу лет, я дружил с Эренфестом, был частым гостем его исключительно милой, гостеприимной семьи и не раз бывал свидетелем его научных бесед.

Исключительно критический ум, по-видимому, сковывал его воображение, и ему самому не удавалось делать работы, которые он мог бы считать крупными. Я не знал тогда, что со своей повышенной нервозностью Эренфест сильно переживал, что не может в своем творчестве подняться до уровня друзей, которых он критиковал. Узнал я об этих переживаниях в начале 1933 г., когда получил от него длинное письмо, в котором он мне подробно описывает свое тяжелое душевное состояние и никчемность работы и считает, что ему дольше жить не следует. Единственное, что, по его мнению, могло бы его спасти,— это покинуть Лейден, уехать подальше от своих друзей. Он просит меня, не могу ли я помочь ему устроиться в какой-либо небольшой университет в Канаде и попросить об этом Резерфорда, у которого, несомненно, в Канаде большие связи. Я, конечно, был очень взволнован, мы все любили Эренфеста и все знали, что его влияние как учителя и критика на развитие современной физики было громадно. Я перевел письмо с немецкого на английский язык и пришел к Резерфорду, который был лично мало знаком с Эренфестом. Я передал письмо и сказал, что очень боюсь за судьбу Эренфеста, так как письмо, несомненно, показывает его душевную неуравновешенность, она, может быть, и временна, но надо сделать все возможное, чтобы помочь ему выйти из этого состояния душевной депрессии. Резерфорд сказал, чтобы я не волновался, что он все берет на себя. Я не знаю, что написал Резерфорд Эренфесту, но только через некоторое время я получил совсем счастливое письмо

305

от Эренфеста, он писал, что Резерфорд объяснил ему, какую роль он играет в физике, и, конечно, ему не надо ехать в Канаду.

Из всей этой истории видно, как умело Резерфорд справлялся с очень сложными психологическими ситуациями, наверное, даже лучше, чем психиатр.

К концу 1933 г. состояние депрессии, по-видимому, вернулось, и 25 сентября Эренфест прекратил свою жизнь.

Мне вспоминается еще один, уже веселый случай, характерный для отношения Резерфорда к ребятам.

Как-то Резерфорд позвал меня к себе в кабинет, и я застал его читающим письмо и грохочущим своим открытым и заразительным смехом. Оказывается, письмо было от учеников какой-то украинской средней школы. Они сообщали Резерфорду, что организовали физический кружок и собираются продолжать его фундаментальные работы по изучению ядра атома, просят его стать почетным членом и прислать оттиски его научных трудов. При описании достижений Резерфорда и его открытий, сделанных в области ядерной физики, вместо физического термина они воспользовались физиологическим. Таким образом, структура атома в описании учеников получила свойства живого организма, что и вызвало смех Резерфорда. Я объяснил Резерфорду, как могло произойти это искажение. По-видимому, школьники сами делали перевод письма и при этом пользовались словарем, а в русском языке, в отличие от английского, слово «ядро» имеет два смысла. Резерфорд сказал, что он так и предполагал, и ответил ребятам письмом, в котором благодарит за высокую честь избрания и посылает оттиски своих работ.

В заключение мне хотелось бы остановиться на вопросе, обсуждение которого я несколько раз встречал в литературе. Предвидел ли Резерфорд те громадные практические последствия, к которым приведет научное открытие и изучение радиоактивности? Громадный запас энергии, который/скрыт в материи, был осознан физиками уже давно, это шло параллельно с развитием теории относительности. Вопрос, который тогда не имел еще решения,— удастся ли когда-либо найти способ реализовать эти громадные запасы энергии? Известно, что

306

возможности получения энергии за счет ядерных процессов становились все более реальными по мере понимания сущности радиоактивных процессов. Главное, неясен был вопрос, удастся ли технически осуществить эти энергетические процессы? Мне помнится, когда я говорил об этом с Резерфордом, он не проявлял к этому вопросу особого интереса. С самого начала моего знакомства с Резерфордом я обратил внимание на то, что у него не было никакого интереса к технике и техническим проблемам и даже, казалось, было какое-то к ним предубеждение, поскольку работа в области прикладных наук связана с денежными интересами.

Я, будучи инженером по образованию, естественно, всегда интересовался техническими задачами. Ко мне не раз обращались за советами и с просьбой принять участие в решении технических задач в промышленности. Когда я советовался по этому поводу с Резерфордом, то он неизменно говорил мне: «Богу и Маммоне служить одновременно нельзя»,— и, конечно, это было правильно. Как-то он мне подробно и без одобрения

рассказывал про судьбу Пупина, способного молодого физика, ставшего коммерсантом. Пупин был несколько старше Резерфорда и до него работал в Кавендишской лаборатории.

Поэтому я считаю, что суждения Резерфорда о практических последствиях ядерной физики не имели ценности. Эти вопросы лежали вне круга его интересов и вкусов.

Мне помнится еще такой разговор с Резерфордом за обедом в Тринити-колледж. Не помню, по какому поводу — под влиянием ли книги Ломброзо «Гений и помешательство» или по другой причине — я развил взгляд, что всякий крупный ученый должен быть до некоторой степени сумасшедшим. Резерфорд услышал этот разговор и спросил меня: «По вашему мнению, Капица, я тоже сумасшедший?» — «Да, профессор». — «А как вы это докажете?» — спросил он. «Очень просто,— ответил я.— Вы помните, несколько дней назад вы сказали мне вскользь, что получили письмо из США, в котором крупная американская фирма (не помню сейчас какая, по-видимому, это была «Дженерал электрик») предлагала вам построить в Америке колоссальную лабораторию и при этом предлагала платить сказочное жалованье. Вы только рассмеялись на такое предложение и серьезно его не стали рассматривать. Так вот, с точки зрения

307

нормального человека вы поступили, как сумасшедший.» Резерфорд рассмеялся и сказал, что, по всей вероятности, я прав.

Осенью 1934 г., когда я, как обычно, поехал в Советский Союз, чтобы повидать мать и друзей, и был совершенно неожиданно для меня лишен возможности вернуться в Кембридж, я в последний раз видел Резерфорда и больше не слышал его голоса и его смеха. В Советском Союзе в продолжение последующих трех-четырёх лет я не имел своей лаборатории и не мог продолжать свою научную работу. Конечно, мое душевное состояние было тяжелым. В эти годы единственный ученый, с которым я переписывался за пределами СССР, был Резерфорд. Не реже, чем раз в два месяца, он мне писал длинные письма, которые я глубоко ценил. В этих письмах он рассказывал о жизни Кембриджа, о своих научных успехах и достижениях своей школы, писал о себе, шутил и давал мне советы, неизменно подбадривая меня в моем трудном положении. Он хорошо понимал, что главное — мне нужно скорее приступить к научной работе, которая была так резко прервана. Хорошо известно, что главным образом благодаря его участию и помощи я смог получить свое научное оборудование из Мондовской лаборатории, так что через три года я опять мог возобновить свои работы в области физики низких температур. Я уверен, что со временем письма Резерфорда будут опубликованы, но сейчас я все же хочу привести несколько отрывков из них, которые и без комментариев говорят за себя.

21 ноября 1935 г. он пишет: «...Мне хочется дать небольшой совет, хотя, может быть, он и не нужен. Я думаю, что для Вас самое важное — начать работать по устройству Вашей лаборатории как можно скорее, и постарайтесь научить ваших помощников быть полезными. Я думаю, что многие из Ваших неприятностей отпадут, когда Вы снова будете работать, и я также уверен, что Ваши отношения с властями улучшатся, как только они увидят, что Вы работаете ревностно над тем, чтобы пустить в ход Ваше предприятие... Возможно, что Вы скажете, что я не понимаю ситуации, но я уверен, что Ваше счастье в будущем зависит от того, как упорно Вы будете работать в лаборатории. Слишком много самоанализа плохо для каждого...»

308

15 мая 1936 г. он пишет: «...Этот семестр я был более занят, чем когда-либо. Но, Вы знаете, мой характер очень улучшился в последние годы, и мне кажется, что никто не пострадал от него за последние несколько недель. Начните научную работу, даже если она не будет мирового значения, начните как можно скорее, и Вы сразу почувствуете себя счастливее. Чем труднее работа, тем меньше времени остается на неприятности. Вы же знаете, что некоторое количество блох хорошо для собаки, но я думаю, что Вы чувствуете, что у вас их больше, чем нужно...»

Коротко, ясно и бодро дает он прекрасные отцовские советы. Последнее письмо датировано 9 октября 1937 г. Он подробно пишет о предполагаемой поездке в Индию. Но в нем есть одна фраза, которую я приведу:

«...Мне приятно сказать, что физически я чувствую себя недурно, но мне хотелось бы, чтобы жизнь не была столь утомительна во время семестра».

За десять дней до смерти он не чувствовал, как она близка.

Для меня смерть Резерфорда была не только потерей учителя и друга. Для меня, как и для ряда ученых, эти годы были также концом целой эпохи в науке.

По-видимому, к этим годам надо отнести начало того периода в истории человеческой культуры, который сейчас общепринято называть научно-технической революцией. Один из главных факторов этой революции — это использование человечеством ядерной энергии. Мы все хорошо знаем, что последствия этой революции могут быть очень страшны,— она может уничтожить человечество. В 1921 г. Резерфорд предупреждал меня, чтобы я не вздумал заниматься коммунистической пропагандой, теперь же оказывается, что в это же время в Кавендишской лаборатории он сам со своими учениками заложил основу научно-технической революции. Хотя мы все надеемся, что у людей хватит ума, чтобы в конечном итоге повернуть научно-техническую революцию по правильному пути для счастья человечества, но все же в год смерти Резерфорда безвозвратно ушла та счастливая и свободная научная работа, которой мы так наслаждались в годы нашей молодости. Наука потеряла свою свободу. Она стала производительной силой. Она стала богатой, но она стала пленницей,

309

и часть ее покрывается паранджой. Я не уверен, продолжал ли бы сейчас Резерфорд по-прежнему шутить и смеяться.

ИСТОРИЯ ОДНОГО ПОРТРЕТА РЕЗЕРФОРДА

Из архива Мондовской лаборатории 1933—1934

Профессору Нильсу Бору Копенгаген, Дания

10 марта 1933 г.

Дорогой профессор Бор!

Пишу Вам по совету лорда Резерфорда, чтобы выяснить Вашу точку зрения по следующему вопросу:

Как Вам известно, мы только что построили новую лабораторию на субсидию, предоставленную Королевским обществом. Здание только что открылось и получило название Мондовской лаборатории Королевского общества. Вы найдете подробные сведения о лаборатории в брошюре, изданной при открытии, которую я посылаю Вам отдельно. Я получил возможность осуществить мои эксперименты с сильными магнитными полями исключительно благодаря поддержке Резерфорда, и в знак признательности к большому интересу, который он проявил к моей работе, я обратился к одному художнику с просьбой выполнить его скульптурный портрет. Этот портрет был укреплен на стене вестибюля лаборатории. Как Вы увидите из фотографии лаборатории, это современное здание, и мне казалось уместным обра-





титься с просьбой выполнить скульптурный портрет к художнику современной школы. Я выбрал Эрика Гилла, так как он и Эпстайн — два ведущих скульптора современной школы Англии.

Из приложенной [фотографии](#). Вы увидите, какой решил изобразить Резерфорда. Это прекрасная скульптура, но ряд людей не одобряют ее. Существует два мнения об этом барельефе. «Консерваторы» считают, что нет сходства с Резерфордом, что для него это

оскорбительно, и просят убрать барельеф; другие, с которыми я согласен, полагают, что для достижения полного сходства с оригиналом существуют такие методы, как фотография и снятие слепка, но в современном искусстве задача художника — создать образ, вдохновленный моделью. Когда Эрику Гиллу сказали, что барельеф не похож на оригинал, он рассказал такую историю: когда Лоренцо Медичи пожаловался, что его портрет, выполненный Микеланджело, не похож на него, Микеланджело ответил: «Он будет похож на вас через 100 лет». Сам же Гилл считает, что портрет слишком похож, и он бы хотел стилизовать его еще больше.

Лично я придерживаюсь следующего мнения: этот портрет сделан, чтобы почтить Резерфорда, и я готов убрать его только по его личному пожеланию. Выслушав «консерваторов», Резерфорд в разговоре со мной сказал, что он не разбирается в искусстве и даже не в состоянии судить о сходстве, хотя находит, что нос в изображении слишком выдается и скорее напоминает ассирийский. Во всяком случае, он не видит ничего оскорбительного в портрете и посоветовал мне: «Вы лучше напишите Бору и спросите его мнение, он хорошо

311

меня знает и к тому же интересуется современным искусством; интересно знать, что он думает».

Извините, что беспокою Вас, но я бы хотел узнать Ваше Соломоново решение. Примите наши самые сердечные приветы Вам и г-же Бор.

Искренне Ваш *П. Капица*

Д-ру П. Капице

Кембридж, Англия

15 марта 1933 г.

Дорогой Капица,

Вы задали мне в Вашем письме, конечно, очень трудную, если не сказать невыполнимую, задачу. Ведь если я недостаточно компетентен, чтобы дать верную оценку в этих вопросах, то у меня достаточно опыта, чтобы понять, насколько невозможно судить о произведении искусства по фотографии, не видя это произведение в его окружении. Если принять во внимание эти оговорки, то барельеф Резерфорда кажется мне превосходным, поскольку это глубокое и вместе с тем сильное произведение. Поэтому я никоим образом не поддерживаю критику портрета, и если Резерфорд против него не возражает, а Вам он нравится, то я думаю, что цель достигнута. Я надеюсь, что он останется на своем месте многие годы свидетелем хорошей работы, которая, как мы все знаем, будет проводиться в Вашей новой лаборатории. Я ознакомлюсь с брошюрой о Вашей лаборатории, как только ее получу, но я решил написать эти строки тотчас же, так как я уезжаю сегодня вечером, чтобы походить на лыжах, поскольку мне очень нужно отдохнуть.

Лучшие пожелания и сердечный привет миссис Капица и Вам, а также всем нашим общим друзьям в Кембридже от моей жены и искренне Вашего

Н. Бора

Профессору Нильсу Бору Копенгаген, Дания

20 марта 1933 г.

Мой дорогой профессор Бор,

Я очень благодарен Вам за Ваше письмо, которое доставило мне большую радость и удовлетворение. Это было очень хорошо с Вашей стороны так быстро сообщить нам свое мнение,

312

Я прекрасно понимаю, что судить о произведении скульптуры по фотографии — трудная задача, но я думаю, что в данном случае фотография создает верное впечатление. Мы надеемся, что скоро сможем увидеть Вас в Кембридже и, когда Вы увидите оригинал, Ваше мнение не изменится.

Примите мою самую искреннюю благодарность и наилучшие пожелания.

П. Капица

Эрику Гиллу, эсквайру

Пиготтс, Норс Дин, Верхний Уайкомб

21 марта 1933 г.

Дорогой Гилл,

Я уверен, что Вы оцените мои усилия, узнав о той борьбе, которую я вел в последнее время по поводу Вашего барельефа. Очевидно, он так сильно раздражает некоторых весьма влиятельных людей в Университете, что они потребовали, чтобы этот барельеф был снят. Была большая дискуссия, мне пришлось сражаться и даже прочесть лекцию по современному искусству и его значению, объясняя такие элементарные вещи, как различие между фотографом и художником. Я не думаю, что мне удалось их переубедить, но я думаю, что мне удалось спасти это произведение искусства, которое я очень ценю.

Резерфорд, который оказался в щекотливом положении, так как без его авторитетного мнения ничего не может быть сделано, а он чистосердечно признается, что не может быть судьей в вопросах искусства, предложил, чтобы это суждение было высказано одним из его наиболее известных учеников — профессором Нильсом Бором из Копенгагена, который является ценителем современного искусства. Мы сделали фотографию барельефа и послали ему. Он считает (с одной-единственной оговоркой, что он не видел этот барельеф в оригинале, а судит по фотографии), что это «глубокое и сильное произведение».

Я надеюсь, что теперь все в порядке, но все еще продолжаю поражаться чрезвычайно формальному отношению к искусству, существующему среди большинства людей в этой стране. До сих пор мне еще не приходилось вплотную сталкиваться с проявлением такой умственной ограниченности, но Вы, очевидно, встречаетесь с этим часто. Мне кажется, они собираются поднять

313

шум вокруг Вашей работы для Би-Би-Си, и я очень сочувствую Вам в том, что Вы подвергаетесь нападкам за индивидуальность творчества.

Я был бы рад возможности повидаться с Вами, так что, если Вы приедете в Кембридж, не забывайте, что мы всегда сможем приютить Вас у себя и будем этому очень рады.

Сердечные приветы и лучшие пожелания.

Искренне Ваш

П. Капица

Д-ру П. Капице

Кембридж, Англия

22 марта 1933 г.

Дорогой Капица,

На прошлой неделе нас посетил Хьюз, и он рассказал нам о скандале, поднятом по поводу портрета Резерфорда. Я весьма сожалею об этом, особенно (конечно, сугубо в практическом смысле) потому, что это доставило Вам такие неприятности. Я очень признателен Вам за заступничество. Хьюз рассказал мне, что произошло это все потому, что некоторые людишки, зараженные антисемитскими выступлениями Гитлера, решили,

что я изобразил у Резерфорда еврейский нос. Конечно, все это чепуха. Как я объяснил Хьюзу, не в переносице, а в крючковатом кончике носа характерная особенность еврейского носа. Сильно выступающий нос характерен скорее для римского, чем для еврейского типа, и поэтому эти здешние любители классики должны были бы только радоваться. А вообще, какая все это дикая чепуха!

Я весьма также сожалею, что явился причиной стольких неприятных минут для лорда Резерфорда. Передайте, пожалуйста, ему мои искренние извинения и сожаление. Я слышал, что шумиха с Би-Би-Си прекратилась. Старого идиота, который решил, что скульптура непристойна, достойно отчитали в палате общин. Это сказал позвонивший мне корреспондент.

Надеюсь вскоре увидеть Вас снова. Как только мы закончим работы в гостинице в Моркамбе, я собираюсь приехать в Кембридж, чтобы сделать надпись на цоколе той большой толстой вазы, которая стоит во дворе здания Совета (университета).

Надеюсь, что миссис Анна и дети здоровы.

Всегда Ваш

Эрик Гилл

314

Эрику Гиллу, эсквайру

Пиеттс, Норе Дин, Верхний Уайкомб

24 июня 1933 г.

Дорогой Гилл,

Шум по поводу барельефа Резерфорда постепенно стихает. У нас состоялось специальное собрание строительного синдиката для рассмотрения этого вопроса. Это нужно было сделать, так как иначе консерваторам показалось бы, что ими пренебрегают, а это опасно: консерваторы всегда самые важные люди в этом мире! Мы должны все же заставить их почувствовать, что мы не пренебрегаем их мнением (это обидело бы их больше, чем что-либо иное).

Строительный синдикат решил, по моему предложению, ничего не делать с барельефом без Вашего и Хьюза согласия. Так, мы решили, что, когда Вы приедете в Кембридж, чтобы высечь надпись на греческой вазе, мы устроим небольшое совещание, на котором будете Вы, Хьюз, я и два или три члена строительного синдиката (большинство наше!). Эта встреча, надеюсь, выльется в общую дискуссию о современном искусстве.

Сообщите, когда Вы собираетесь приехать, и мы будем очень рады, если Вы остановитесь у нас, пока будете заняты этой работой.

Весьма искренне Ваш

П. Л. Капица

Профессору Нильсу Бору Копенгаген, Дания

3 февраля 1934 г. Дорогой Бор,

Все неприятности, связанные с барельефом Резерфорда, сейчас, я надеюсь, кончились, и он останется на стене. Невозможно переоценить роль, которую Вы сыграли в спасении его жизни. В знак благодарности за Вашу поддержку я был бы счастлив, если бы Вы согласились принять в подарок авторскую копию оригинала. Я говорил сегодня об этом с Эриком Гиллом, он весьма охотно сделает копию в июле, когда возвратится из Палестины.

Я предлагаю, чтобы копия была такого же размера и высечена из того же камня, что и оригинал, при

315

условии, если Вы не предложите каких-либо изменений, соответствующих месту, где Вы намерены ее установить. Я надеюсь, что Вы и госпожа Бор здоровы.

Искренне Ваш

П. Л. Капица

Д-ру П. Капице Кембридж, Англия

9 февраля 1934 г.

Дорогой Капица,

Я был очень рад узнать из Вашего любезного письма, что все волнения в связи с прекрасным и выразительным барельефом Резерфорда окончились, и я очень, очень благодарен Вам и художнику за великодушное

предложение подарить мне копию барельефа. Для меня и всего института этот портрет будет желанным символом того, чем физика и лично я обязаны нашему великому учителю. Мы найдем для него достойное место в институте, и я совершенно согласен с Вашим предложением, что копия должна быть такого же размера и высечена из того же камня, что и оригинал, поскольку, когда ее установят, мы всегда сможем создать для нее подходящее окружение.

Сердечные приветы г-же Капица и Вам от моей жены и меня с моей глубокой благодарностью.

Я. Бор

РОЛЬ ВЫДАЮЩЕГОСЯ УЧЕНОГО В РАЗВИТИИ НАУКИ

Доклад на Международном коллоквиуме, посвященном 100-летию со дня рождения Резерфорда
1971

Мне особенно приятно иметь честь открыть этот коллоквиум, так как не только как ученый я преклоняюсь перед фундаментальным вкладом, сделанным Резерфордом в познание радиоактивности и строения атома, но также потому, что мне посчастливилось быть среди его учеников. В развитии моей научной работы я многим обязан его доброму ко мне отношению. За

316

13 лет, проведенных мною в Кавендишской лаборатории, я многому научился от него, и не только как от большого ученого, но и как от руководителя и организатора одной из самых выдающихся школ физики своего времени.

Сейчас собравшиеся здесь ученые сделают ряд интересных докладов о Резерфорде. Большинство из этих докладов будет сделано сотрудниками Резерфорда, которые, как и я, начали свою научную карьеру в Кавендишской лаборатории; мы услышим доклады Аллибона, Фезера, Льюиса, Шёнберга. Нас осталось уже мало, и, к сожалению, не смогли приехать ни Блэкетт, ни Чадвик, ни Олифант, ни Эллис. Они примут участие в юбилее, который будет происходить в октябре в Англии — в Королевском обществе в Лондоне и в Кембриджском университете.

Открывая сегодняшнее собрание, в своем докладе я не буду говорить о Резерфорде ни как об ученом, ни как об учителе, но я хочу на примере деятельности Резерфорда коснуться одного более общего вопроса — роли большого ученого-творца в развитии науки.

Этот вопрос ставился уже не раз, так как он имеет важное значение в организации науки. В упрощенной форме этот вопрос заключается в следующем: наука — это познание человеком законов природы; эти законы едины, поэтому путь развития науки предопределен, и ни один человек не может его изменить. Следовательно, гений Резерфорда, как и других больших ученых, не может менять пути развития науки. Но если это так, то, может быть, гениального человека можно заменить коллективом менее способных людей и при этом успех их научной работы в полной мере может быть обеспечен ее хорошей организацией, т. е. заменить качество количеством? При высказывании такого мнения отмечалось, что на практике это и проще, и надежнее, чем возиться с гениями, которые к тому же часто бывают непокладистыми людьми.

Такую точку зрения мне приходилось слышать от очень ответственных общественных деятелей. В ней есть доля правды, так как хорошо организованные институты, несомненно, способствуют развитию науки, но я не думаю, что научные институты могут успешно работать без крупных руководителей и ведущих ученых. Например, из истории хорошо известно, что войскам без

317

хорошего полководца не удастся успешно побеждать. Вопрос, который следует разобрать, — может ли армия ученых успешно завоевывать природу без своих крупных полководцев?

Как известно, развитие науки заключается в нахождении новых явлений природы и в открытии тех законов, которым они подчиняются. Чаще всего это осуществляется благодаря тому, что находят новые методы исследования. Создание чего-либо нового, до этого не существовавшего, мы относим к творческой деятельности человека, и это признается наиболее высокой духовной деятельностью людей. Одаренность к творческой деятельности и определяет талантливость человека, и не только как ученого, но также писателя, художника, музыканта и даже полководца и государственного деятеля.

Значимость творческого таланта хорошо иллюстрируется следующим примером, который, насколько мне известно, был еще давно предложен Джинсом. Положим, у нас есть x — число пишущих машинок и за каждой

машинкой сидит обезьяна, умеющая только ударять по клавишам, т. е. существо, полностью лишенное творческих способностей в области литературы. Спрашивается: каково должно быть число таких машинок-обезьян, чтобы одной из них посчастливилось написать, скажем, «Гамлета», т. е. одно из самых выдающихся произведений мировой литературы, созданное гением Шекспира? Задача решается просто. Вот ее решение. Положим, при использовании всех клавиш и регистров современной машинки, чтобы первая буква была правильна, нужно 100 независимых ударов обезьянами и такое же число машинок. Тогда, чтобы n начальных букв совпали с текстом «Гамлета», число обезьян $x=100^n = 10^{2n}$. Таким образом, получаем довольно неожиданный результат. Чтобы совпали только первые 40 букв, т. е. меньше первой строчки текста «Гамлета», число обезьян x должно быть около 10^{80} , а это — число атомов во всей Вселенной, такой, как она представляется современным астрономам.

Конечно, задача таким путем еще не полностью решена, напечатанное обезьянами нужно еще прочесть и найти искомый текст. Чтобы осмыслить напечатанное, нужен человеческий ум, хотя бы и без творческих способностей, но умеющий критически оценить литературное качество напечатанного.

318

Приведенная задача, конечно, нереальна, никто не предполагает создавать научные институты из обезьян, но все же эта задача хорошо иллюстрирует необходимость тщательного подбора сотрудников научных институтов из людей с творческим дарованием, так как в науке каждый плохо осмысленный поиск почти сразу, как и в случае с обезьянами, понижает вероятность успешного решения поставленной задачи до нуля.

Если бы мы умели определять творческие способности человека количественно, то мы могли бы решать важную задачу при организации науки, а именно предопределять возможность решения той или иной научной проблемы в зависимости от качества творческих способностей подобранных кадров. Пока, к сожалению, мы не умеем количественно решать такие задачи. Но житейский опыт показывает, что успех работы научного института полностью зависит от творческих качеств выбранного коллектива. Математики сказали бы, что, как и в случае с обезьянами, эта зависимость является экспоненциальной функцией, при этом в показатель степени должны входить творческие способности всего коллектива; этот показатель велик, и поэтому достаточно небольшого его понижения, чтобы творческая деятельность научного учреждения почти сразу становилась ничемной. Но также справедливо и обратное — появление даже одного крупного ученого сразу будет сильно повышать эффективность деятельности всего коллектива.

Действительно, история науки показывает, как хорошо подобранная школа научных работников (обычно она создается крупным ученым) исключительно эффективно двигает науку вперед. Ярким примером такой школы была школа, созданная Резерфордом в Кавендишской лаборатории.

Рассматривая эффективность деятельности научного учреждения, не следует упускать еще один существенный фактор, необходимый для успешной творческой деятельности людей как науки, так и искусства,— это здоровая общественная оценка творческих достижений. В задаче Джинса это соответствует тому, что нужны еще компетентные люди, которые умели бы отбирать тексты, написанные обезьянами, по их литературным качествам,

319

Поэтому эффективная творческая работа как в науке, так и в искусстве невозможна без участия широкой культурной общественности.

Я хотел в связи с этим напомнить об одном разительном историческом примере, об исключительно высоких достижениях творческой деятельности людей, но не в области науки, а в области искусства в эпоху Возрождения в Италии.

Перед искусствоведами-историками давно стоит вопрос: почему в Италии, тогда небольшой стране, и на сравнительно коротком промежутке времени почти сразу появился ряд выдающихся художников, как Рафаэль, Тициан, Микеланджело, Леонардо, Корреджо, Боттичелли, Тинторетто и другие? В дальнейшие пять веков нигде больше такой плеяды гениев не возникало. Спрашивается, является ли это следствием счастливой случайности или это проявление исторической закономерности? Я думаю, что в своем замечательном труде «Философия искусства» Тэн дает правильное объяснение причин появления этой гениальной плеяды. Он показывает, что в эпоху Возрождения творческие таланты могли так успешно развиваться благодаря существовавшему тогда отношению общественности к искусству. В экономически процветающей Италии

в силу исторически сложившихся обстоятельств появилась широкая общественность, которая умела высоко ценить изобразительное искусство, правильно его понимала и поддерживала наиболее талантливых его представителей.

Аналогично, плеяда выдающихся ученых-физиков, как Максвелл, Рэлей, Томсон, Резерфорд, которые один за другим руководили Кавендишской лабораторией Кембриджского университета, не могла бы возникнуть, если бы там и вообще в Англии в то время не существовало культурной научной общественности, правильно оценивающей и поддерживающей деятельность ученых. Исторический опыт показывает, что число людей, обладающих достаточными творческими способностями, чтобы оказывать заметное влияние на развитие как науки, так и искусства, очень мало. Это видно, например, из отношения числа научных работ, которые печатаются, к числу научных работ, которые действительно оказали влияние на развитие науки. То же относится к числу написанных художниками картин, тех, которые можно назвать произведениями искусства. Маркс объ-

320

яснил исключительно высокую стоимость шедевров больших мастеров тем, что в их цену входят расходы на все то большое количество написанных картин, которые не имеют художественной ценности. Такой же жесткий отбор достойных произведений происходит и в литературе, и в музыке.

Очевидно, чтобы в стране успешно развивались наука и искусство, должен существовать большой набор научных работ и произведений искусства, чтобы из них происходил отбор той небольшой части, которая только и двигает науку и развивает художественную культуру. Для этого отбора и должно существовать здоровое общественное мнение, которое могло бы справедливо и квалифицированно оценивать лучшие работы. Поэтому здоровая организация науки в стране обеспечивается не только хорошими условиями для научной работы, но и созданием условий для правильной оценки результатов этой работы. Теперь во всех странах это лучше всего обеспечивается специальными общественными органами, как академии наук, научные общества, научные советы и пр. Благодаря интернациональному значению науки стала возможной более объективная оценка путем создания международного общественного мнения. Это достигается широким общением ученых на симпозиумах, конгрессах, переводом научных статей на иностранные языки и др.

Сейчас с увеличением роли науки в развитии техники, хозяйства и культуры страны научные работы стали поглощать заметную долю государственных расходов, и эффективная организация научных работ становится крупной государственной проблемой.

Организации науки нельзя давать развиваться стихийно, нужно изучать закономерности развития коллективной научной работы, мы должны уметь отбирать творчески талантливых людей. И это должно делаться на основании изучения опыта деятельности больших ученых и больших организаторов научной работы, каким и был Резерфорд.

Самое важное и трудное в организации науки — это отбор действительно наиболее творчески одаренной молодежи и создание тех условий, при которых ее талант мог бы быстро развернуться в полную меру. Для этого нужно уметь оценивать творческие способности у молодежи, когда она только начинает свою научную работу.

321

Основная ошибка, которая тут нередко делается,— это то, что у молодежи ее познавательные способности и эрудиция часто принимаются за творческие качества. В биографии Резерфорда есть один поучительный эпизод. Когда он был еще начинающим ученым в Новой Зеландии, там делался отбор из оканчивающих университет с тем, чтобы наиболее одаренному дать стипендию для продолжения научной работы в Кембридже. Я не помню, кто был первым кандидатом, но Резерфорд был выбран вторым. Как известно, только случайно первый кандидат не поехал и поехал Резерфорд. Из истории науки известно, что такие ошибки в отборе делаются часто, и обычно их причина лежит в недостаточном умении оценивать творческие качества начинающего ученого и в преувеличенной оценке его способностей заучивать фактический материал.

Изучение ранних работ такого большого ученого, как Резерфорд, с этой точки зрения имеет большой интерес, так как показывает генезис развития его творческих качеств. Эти работы теперь почти забыты, поскольку методы, которыми они были сделаны, теперь устарели и количественные результаты теперь во много раз точнее. Но какой важный материал они дают, чтобы видеть, как проявлялся творческий талант Резерфорда!

Изучая эти работы, видим, что с самого начала его деятельности Резерфорда нельзя отнести к ученым с большой эрудицией. Но его творческое воображение и смелость в построении научных гипотез, интуитивное чутье являлись главными факторами, определившими успех в его научных изысканиях.

Конечно, теперь это все хорошо известно по тем фундаментальным открытиям, которые сделаны Резерфордом. Главная трудность задачи, стоящая перед организатором науки,—это уметь обнаружить талант у таких ученых, как Резерфорд, когда они еще молоды.

Сейчас сравнительно мало интересуются оригинальными работами великих классиков науки. Обычно знакомятся с их достижениями в учебниках, монографиях, энциклопедиях. Конечно, с познавательной целью это вполне оправдано, но для ученого, которому предстоит стать руководителем молодежи, организатором научной работы коллектива, главным фактором, обеспечивающим успех его деятельности, явится отбор кадров по их творческим качествам. Одним из наиболее действенных

322

путей для того, чтобы научиться оценивать творческие способности молодежи, является изучение оригинальных работ больших ученых. Этим нельзя пренебрегать. Меня лично знакомство с работами таких ученых, как Максвелл, Рэлей, Кюри, Лебедев, научило многому, и, кроме того, это доставляет еще эстетическое наслаждение. Проявления творческого таланта человека всегда красивы, и ими нельзя не любоваться!

Мой жизненный опыт показывает, что в оценке творческих качеств молодых ученых и проявляется основной талант руководителя научного института. Без этих способностей ученый не может подобрать сильный научный коллектив для своей школы.

Несомненно, Резерфорд был одним из самых одаренных организаторов науки, и его главный талант состоял в умении отбора молодых ученых по их творческим способностям. Резерфорд умел также правильно оценить характер способностей ученого, что исключительно важно для успешного развития его творческого дарования.

Отвечая на вопрос, поставленный в начале о роли личности в развитии науки, и подводя итог сказанному, приходим к заключению, что хотя путь науки predetermined, но движение по этому пути обеспечивается только работами очень небольшого числа исключительно одаренных людей. Качество отбора творчески одаренных ученых и есть основной фактор, обеспечивающий высокий уровень развития науки. Очень важно для успешного развития науки создание благоприятных условий для развития природных талантов ученого, для этого надо делать творческую работу привлекательной. Это следует делать общественным организациям, которые, давая правильные оценки достижениям ученых, также давали бы им почувствовать, что их деятельность нужна и полезна человечеству. В науке общественную оценку следует делать в интернациональном масштабе, поскольку научные достижения принадлежат всему человечеству.

Такие люди, как Резерфорд, перестают быть только национальной гордостью того государства, где они родились и работали, они становятся гордостью всего человечества.

323

**) Простота — вот самая большая мудрость (франц.).*

**) Расширить атом (англ.).*

**) Кроме этой фотографии здесь приведен рисунок, выполненный Эриком Гиллом; этим рисунком скульптор пользовался при изготовлении барельефного портрета.*

ЛОМОНОСОВ И МИРОВАЯ НАУКА

Речь на сессии Отделения

физико-математических наук АН СССР, посвященной

250-летию со дня рождения М. В. Ломоносова

1961

Говорить о Ломоносове приятно, как приятно общение с одним из самобытных гениев в истории человеческой культуры. Говорить теперь о Ломоносове трудно, так как все мы со школьной скамьи хорошо знакомы с его образом и с его деятельностью. Тут трудно рассказать что-либо новое, так как уже в продолжение 200 лет

жизнь и деятельность Ломоносова всесторонне изучались и обсуждались. Говорили и писали о Ломоносове крупнейшие наши писатели, публицисты, ученые и государственные деятели: Радищев, Пушкин, Белинский, Добролюбов, Чернышевский, Герцен, Писарев, Аксаков, Меншуткин, Вальден, Вавилов, Ферсман, Комаров и многие-многие другие. Хотя некоторые стороны деятельности Ломоносова и критиковались, но все без исключения говорили о нем с громадным пиететом и признавали его колоссальное влияние на развитие нашей отечественной культуры — языка, литературы, образования, техники и науки. Большое прогрессивное значение Ломоносова признавалось в дореволюционное время, признается и теперь. Уже с прошлого века неизменно торжественно отмечались юбилейные даты его рождения и смерти. В наше время эти торжества принимают все более и более крупные, всенародные масштабы!

Первый памятник Ломоносову был воздвигнут на его родине в Архангельске; он принадлежит нашему крупнейшему скульптору Мартосу. В 1825 г. началась подписка, а уже через четыре года памятник был открыт.

В 1865 г. (столетие со дня смерти Ломоносова) Академия наук учредила ежегодную премию его имени в 1000 рублей. Эта премия присуждалась поочередно по

324

гуманитарным и естественным наукам. В наше время Академия наук также учредила премию и медаль имени Ломоносова.

Единственное, что не было еще выполнено за истекшие 200 лет,— это издание полного собрания сочинений М. В. Ломоносова, которое осуществлено в последние годы.

Немногие из наших ученых или общественных деятелей имеют такой богатый биографический и историографический материал, как Ломоносов; знакомясь с этим материалом, приходится сожалеть, что до нас не дошел хороший портрет Ломоносова. Портреты и гравюры, которые обычно воспроизводятся, сделаны посмертно и являются копиями с одного и того же оригинала, написанного неизвестным и малоодаренным художником. Только бюст работы Шубина, лично знавшего Ломоносова, дает нам его живой и одухотворенный образ.

При изучении материалов о Ломоносове наибольшую неудовлетворенность вызывает то, что никто из наших крупных писателей не нарисовал его облика как человека. Есть, конечно, на свете много даже крупных ученых, круг интересов которых ограничен стенами их лабораторий. Обычно человеческий образ таких ученых малоинтересен. Но когда деятельность крупного ученого и большого самобытного человека, каким был Ломоносов, захватывает развитие культуры всей страны и при этом в один из интереснейших моментов ее историк, то его живой образ представляет большой общечеловеческий интерес. Чем крупнее человек, тем больше противоречий в нем самом и тем больше противоречий в тех задачах, которые ставит перед ним жизнь. Диапазон этих противоречий и является мерой гениальности человека. Противоречия как в самой натуре Ломоносова, так и противоречия, в которых протекала его жизнь, были исключительно велики.

Трудно найти большее противоречие, чем в судьбе «архангельского мужика», живущего и работающего среди придворной верхушки чиновного и дворянского сословия. Ломоносов был прогрессивным общественным деятелем, он видел необходимость народного образования и науки, боролся с суевериями и предрассудками, но для осуществления своей деятельности ему приходилось опираться на вельмож при дворе. Несмотря на свое мужицкое происхождение, он понимал необходимость

325

лести и восхваления державных властителей и по-своему справлялся с этой задачей. Яркостью своих личных качеств он снискал дружбу и покровительство наиболее влиятельных вельмож того времени — Шувалова, Воронцова и Орлова.

Когда Петр «прорубил окно» в Европу, то ветер занес к нам с Запада не только культуру и науку. Состоящими учеными, какими были Эйлер и Бернулли и которые принесли нам передовую западную науку, ветер занес к нам большое количество ученых-иностранцев, средних людей или даже авантюристов, заинтересованных только в материальных благах и в сохранении своего привилегированного положения в РОССИИ, которое давало им возможность легко обогащаться. Естественно, что они тормозили в Академии наук рост русского влияния. Хорошо известно, как Ломоносову, опираясь на авторитет иностранных ученых, приходилось бороться с засильем иностранцев. Ломоносов своим острым умом прекрасно оценивал сложность условий, в которых проходила его деятельность. Она требовала с его стороны большой выдержки и такта, но это

противоречило неудержимости его темперамента и страстности его натуры. Тут возникали те острые конфликты, которые хорошо известны из биографии Ломоносова. В конечном итоге в этой сложной борьбе гению Ломоносова все же удается побеждать, но картина этой сложной борьбы до сих пор хорошо не обрисована.

Ломоносов понимал большое значение развития науки в России и необходимость поднятия высшего образования; он много работал по созданию в Москве университета, привлекал молодежь к научной работе, но сам не мог уделять научной работе столько времени, сколько ему хотелось. По-видимому, по натуре он не был учителем. Чрезмерный индивидуализм не делал из него выдержанного учителя. В результате получилось, что, положив столько сил на распространение науки в России, он все же не оставил после себя учеников. Меншуткин, наибольший знаток научной деятельности Ломоносова, говорит, что «он не создал никакой школы, из его учеников после его смерти по научной части пошел только С. Я. Румовский», впоследствии профессор астрономии Академии наук.

Перечень противоречий в жизни Ломоносова можно было бы продолжить, но нарисовать живой образ Ло-

326
моносова, вмещавшего в себя все эти противоречия,— задача, которая ждет своего крупного писателя.

Мне хотелось бы сейчас остановиться на одном из противоречий в жизни Ломоносова, которое хотя и хорошо известно, но пока еще не получило должного объяснения. Я думаю, что оно актуально для нас и сейчас.

Не раз Ломоносов говорил, что его деятельность как поэта и писателя, реформатора русского языка, историка, общественного деятеля, геолога, администратора мало его удовлетворяет и основное свое призвание он видит в научной работе в физике и химии. Казалось бы, что научная работа по химии и физике должна была бы быть его основной деятельностью, поскольку с самого начала своего пребывания в Академии наук, с 1741 г., он занимал место адъюнкта по физике, а через четыре года был назначен профессором химии. Естественно предположить, что при этих условиях гений Ломоносова должен был оставить крупнейший след как в отечественной, так и в мировой науке. Но мы знаем, что этого не произошло, и это неоднократно вызывало недоумение многих изучавших историю науки. Академик П. И. Вальден в своей речи, произнесенной в Академии наук на юбилее Ломоносова в 1911 г., подробно останавливался на этом вопросе, он указывает на «трагизм в участи научных трудов Ломоносова, не оставивших видимых следов в химии и физике». Вальден приводит ряд данных, подтверждающих незнание иностранными историками научной деятельности Ломоносова. В подробной истории физики Heller'a (1889 г.) и Rosenberger'a (1882—1890 гг.) вовсе не встречается имя Ломоносова. Французский историк химии F. Hoefler (1860 г.) пишет о нем только несколько строк, не лишенных курьеза. Привожу их дословно: «Parmi les chimistes russes qui se sont fait connaitre comme chimistes, nous citerons Michel Lomonossov, qu'il ne faut pas confondre avec le poete [de ce nom](#)».

Но если на Западе почти не знали научных работ Ломоносова как физика и химика, то и у нас они оставались или неизвестными, или забытыми до самого недавнего времени. Во всех обширных материалах по исследованию Ломоносова до начала нашего века есть

327

только две юбилейные статьи о Ломоносове как физике, обе напечатанные в 1865 г.; одна — Н. А. Любимова, которая представляет бесталанный пересказ нескольких работ Ломоносова, вторая — всего в пять страничек — Н. П. Бекетова. В обеих больших русских энциклопедиях, как Брокгауза, так и Граната, так же как и в Британской энциклопедии и во французском Ларуссе, ничего не говорится о достижениях Ломоносова как физика и химика. Даже в нашем основном и дотошно цитирующем литературу курсе физики О. Д. Хвольсона до появления работ Меншуткина не было ни одной ссылки на Ломоносова.

С другой стороны, А. С. Пушкин в своих заметках «Путешествие из Москвы в Петербург» (1834 г.), разбирая деятельность Ломоносова, говорит: «Ломоносов сам не дорожил своей поэзией и гораздо более заботился о своих химических опытах, нежели о должностных одах на высоко торжественный день тезоименитства». Пушкин говорит о Ломоносове как о великом деятеле науки; в историю вошли его замечательные слова: «Он, лучше сказать, сам был первым нашим университетом». Пушкин видел гений Ломоносова как ученого. Для нас очень важно мнение Пушкина как одного из самых образованных и глубоко понимающих русскую действительность людей. К тому же Пушкин мог еще встречать людей, которые видели и слышали живого

Ломоносова. Таким образом, даже современниками Ломоносов был признан большим ученым. Но характерно, что никто из окружающих не мог описать, что же действительно сделал в науке Ломоносов, за что его надо считать великим ученым.

Так продолжалось до начала нашего столетия, когда профессор физической химии Борис Николаевич Меншуткин как ученый стал изучать оригинальные научные труды Ломоносова по химии и физике. Меншуткин перевел с латинского и немецкого работы Ломоносова, критически изучил не только основные труды, но и переписку и личные заметки Ломоносова. Начиная с 1904 г. Меншуткин систематически публиковал этот материал. Позднее эту работу стали продолжать С. И. Вавилов, Т. П. Кравец и ряд других ученых.

Таким образом, только через 200 лет мы узнали, над чем и как работал Ломоносов. Теперь, зная, по какому пути развивалась наука после Ломоносова, мы можем

328

безошибочно оценить его научную работу по химии и физике. Таким образом, только теперь выяснилось, что для своего времени научная работа Ломоносова была наиболее передовая и, несомненно, должна была бы оставить глубокий след в развитии мировой науки.

Сделанная Пушкиным более ста лет назад интуитивная оценка Ломоносова как великого ученого была правильной. Все это еще больше заставляет нас недоумевать, как могло случиться, что вся эта научная деятельность Ломоносова прошла так бесследно не только за границей, но и у нас? Об этом приходится говорить со скорбью, так как вследствие этого и наша, и мировая наука понесла значительный урон. Конечно, такая изоляция научной деятельности Ломоносова от мировой науки не могла произойти случайно, она имела свои исторические причины. Я думаю, что таких случаев, когда открытия и достижения русских ученых не оказали должного влияния на развитие мировой науки, было у нас немало. Поэтому противоречия между крупнейшими достижениями Ломоносова в науке и отсутствием должного их влияния на развитие мировой науки имеют интерес и в наши дни. Я остановлюсь на этом вопросе более подробно.

Чтобы сделать анализ связи работ Ломоносова как ученого с современной ему наукой, нужно хотя бы в самых общих чертах нарисовать картину того, в каких условиях развивались естественные науки в первой половине XVIII в. Напомню, что в истории культуры человечества только XVI в. можно считать началом интенсивного роста естественных наук. До этого времени человечество также знало великих ученых, как, например, Пифагор, Архимед, Авиценна, но они были одиноко творившими гениями. Наука тогда развивалась медленно. Только с XVI в. наука стала развиваться нарастающими темпами в результате того, что научная работа стала коллективным творчеством людей, проходящим в интернациональном масштабе. Первые громадные успехи этого коллективного творчества ученых хорошо известны: это был быстрый рост астрономии и механики. В нем приняли участие поляк Коперник, датчанин Тихо Браге, немец Кеплер, итальянец Галилей, англичанин Ньютон, француз Декарт, голландец Гюйгенс и еще много-много других, менее известных ученых,

329

И по сей день коллективный труд ученых в международном масштабе является основным фактором, обеспечивающим быстрый рост науки. Он стал возможен не только благодаря росту материального благосостояния людей и развитию средств связи между странами, но, главное, это стало возможным благодаря изобретению в XV в. книгопечатания. Все ученые хорошо понимают, что и по сей день без книги невозможно ни распространение, ни сохранение научного опыта и научных достижений, а без этого, конечно, наука не может полноценно развиваться.

В это же время происходит отрыв науки от церкви, что было необходимо, чтобы наука развивалась на здоровой материалистической базе.

С этого времени передовые государственные деятели начинают понимать значение развития естественных наук для роста человеческой культуры. Уже в начале XVII в. громадное значение опытного изучения природы и индуктивный метод обобщения этих опытов, ведущий к познанию законов природы, были четко сформулированы Фрэнсисом Бэконом. Крупный государственный деятель, достигший положения лорда-канцлера, Бэкон в 1621 г. был осужден за взяточничество. Конец своей жизни он провел в полуизгнании, где написал философские работы, которые обессмертили его имя. Так бесславию при жизни превратилось в славу после смерти. В писаниях Бэкона, в одном неоконченном сочинении, названном им «Новой Атлантидой», он по-новому возро-

ждал историю Платоновой Атлантиды. Остров этот живет и управляется учеными. В описании острова можно найти и научные институты, и другие стороны организации научной жизни, напоминающие нашу государственную организацию науки.

Значение науки как могучей силы, направляющей рост культуры страны по правильному пути, Бэкон дает в следующем красивом образе, где наука противопоставляется эмпиризму: «Хромой калека, идущий по верной дороге, может обогнать рысак, если тот бежит по неправильному пути. Даже более того, чем быстрее бежит рысак, раз сбившись с пути, тем дальше оставит его за собой калека». Также Бэкон провозгласил физику «матерью всех наук», которая первая указывает путь развития культуры человека. Я даю это описание так подробно, поскольку Бэкон в те времена широко читался

330

и его «Новая Атлантида» выдержала много изданий. Его взгляды были распространены в правящей верхушке передовых стран, и в это время развитие науки стало считаться государственной заботой. Тогда же научная работа так распространилась, что возникла потребность согласованной работы, поэтому уже в XVII в. во многих странах начинают создаваться академии наук или аналогичные им научные общества. Начинают печататься периодические научные журналы и мемуары.

Петр I при посещении им Европы быстро воспринял значение науки для развития страны; он не мог не понимать, что России, чтобы стать передовой, культурной страной, тоже нужна наука. Тут происходят известные беседы на эту тему Петра с Лейбницем и возникает идея создания в России Академии наук. Создается наша Академия уже после смерти Петра, при Екатерине I, в 1725 г. Хорошо известно, что Академия была сформирована из иностранцев с тем, чтобы они воспитали русских ученых. Мы знаем, что Ломоносову повезло — он вовремя попал в Петербург, чтобы стать одним из первых русских ученых в Академии наук. Но, конечно, еще больше повезло Академии наук, что первым русским ученым стал Ломоносов. Он получил свое высшее научное образование в Германии, где в продолжение 5 лет учился, главным образом у профессора Христиана Вольфа. В 1741 г. Ломоносов возвратился в Петербург, где ему пришлось начинать свою научную деятельность в весьма неблагоприятных условиях.

К этому времени Академия наук уже существовала почти 20 лет, царствовала Анна, правил Бирон, и идея Петра о развитии своей русской науки начала отходить на второй план. При создании Академии наук среди приглашенных иностранцев были только два настоящих крупных ученых, оба ставших знаменитыми. Это были Леонард Эйлер и Даниил Бернулли. Но внимательное отношение к ним все уменьшалось, и в 1741 г., когда Ломоносов вернулся из Германии в Петербург, они оба, сначала Бернулли, а потом Эйлер, уже покинули Академию. Интересно, что Эйлер покинул Петербург за три дня до возвращения Ломоносова из Германии и вернулся снова в Петербург уже при Екатерине II, когда внимание к ученым стало снова повышаться. Но это было уже через год после смерти Ломоносова. Таким образом, хотя Ломоносов и много переписывался с Эйлером,

331

этично они не встречались, если не считать возможных посещений Ломоносовым до его отъезда в Германию лекций Эйлера.

Итак, в Академии наук в области своих работ по физике и химии Ломоносов был предоставлен почти полному одиночеству. За развитием науки ему приходилось следить по литературе, которая была тогда скупой, личного контакта с крупными учеными у него не было, так как Ломоносов, ставши ученым, ни разу не выезжал за границу, а иностранные ученые для общения с ним в Петербург не приезжали, поскольку тогдашняя Академия наук не представляла интереса.

Несмотря на эту оторванность от мировой науки, Ломоносов все же сумел сосредоточить свои работы на самых актуальных проблемах химии и физики того времени. Как ученый он совмещал в себе мыслителя и экспериментатора. Интересны его высказывания о связи теории и эксперимента, они вполне актуальны и по сей день: «Некоторые теоретики, без всяких предварительных опытов злоупотребляющие своим досугом для измышления пустой и ложной теории и загромождающие ими литературу...»

Во главу изучения природы Ломоносов ставил опыт, это его характерная черта как ученого. Поэтому он много сил положил, чтобы создать лабораторию, и усердно работал там. Но тогдашнее окружение мало ценило Ломоносова как ученого, его ценили прежде всего как поэта. За одну из своих хвалебных од Ломоносов получил от царицы 2000 рублей, что было больше, чем его трехлетнее жалование в Академии наук (660 рублей в год).

Ломоносова также ценили как историка, как создателя литературного русского языка, за его грамматику, за его переводы, ценили его как государственного деятеля, заботившегося о развитии образования и техники в России.

Значение его научных занятий в лаборатории не было понятно чиновникам и двору. Чтобы оправдаться в своих лабораторных занятиях, Ломоносов писал в 1753 г. графу Шувалову: «Полагаю, что мне позволено будет в день несколько часов времени, чтобы их, вместо бильярду, употребить на физические и химические опыты...» Таким образом, Ломоносову приходилось оправдываться в своей научной работе, что он тратит на нее

332

время досуга вместо игры в бильярд. Конечно, оправданием затрат государственных средств на лабораторию были и практические результаты, как, например, получение мозаичного стекла и решение различных технических задач.

Приходится удивляться тому, как много сделал Ломоносов в области экспериментальной базисной науки, несмотря на эти неблагоприятные условия. Во-первых, он очень широко захватил в своих работах различные области физики. Он изучал жидкое, твердое и газообразное состояние тел. Он тщательно разработал термометрию, он точно калибровал свои ртутные термометры. Пользуясь ими, он, например, определил коэффициент расширения газов при нагревании с удивительной для своего времени точностью. Сравнивая его данные с современными, мы находим, что он сделал ошибку меньше 3%, что было в десять раз точнее принятого тогда значения. Это показывает исключительно высокую технику Ломоносова как экспериментатора. Перечисление остальных достижений Ломоносова в области экспериментальной физики и химии, которые были сделаны на том же высоком уровне, заняло бы слишком много времени и не является нашей задачей. Интересующиеся этим вопросом могут прочесть прекрасную монографию Б. Н. Меншуткина о трудах Ломоносова по физике и химии, изданную в 1947 г.

Несомненно, эти работы Ломоносова должны были уже сами по себе поставить его в ряд крупнейших экспериментаторов того времени. Интересно, что опыты Ломоносова по электричеству, в которых он развивал работы Франклина, более известны не по своим научным результатам, а по тому, что они привели к смерти Рихмана, убитого грозovým разрядом. Эти работы привели Ломоносова к выдвиганию интересной гипотезы о природе электрического заряда в облаках.

Есть у него и ряд оптических работ, они сводились к построению более совершенных оптических приборов, как например, телескопа-рефлектора, которым Ломоносов в 1761 г. наблюдал редкое явление — прохождение Венеры по диску Солнца. Эти наблюдения были тоже крупным вкладом в науку. Он заметил деформацию и расплывчатость краев диска Венеры и этим первым показал, что на Венере должна быть атмосфера. Интересно отметить, что в современных астрономических

333

руководствах пишут, что такое же доказательство было сделано лишь в 1882 г., т. е. на 121 год позже, когда Венера опять проходила через солнечный диск.

Самым крупным по своему значению достижением Ломоносова было экспериментальное доказательство закона сохранения материи. Открытие Ломоносовым закона сохранения материи теперь хорошо изучено, и несомненность того, что Ломоносов первым его открыл, полностью установлена. В 1756 г. он сделал классический опыт, в котором показал, что в запаянном сосуде при нагревании происходит окисление свинцовых пластинок, но при этом общий вес сосуда не меняется. Опыт Ломоносова аналогичен знаменитому опыту Лавуазье, но опыт Лавуазье был сделан на 17 лет позже. Я не буду подробно повторять всю эту историю, большинство знает ее. Несомненно, что это открытие одного из самых фундаментальных законов природы должно было в истории науки поставить имя Ломоносова в ряду крупнейших мировых ученых.

Но все эти работы Ломоносова не только не были широко известны за границей, но до упомянутого исследования Меншуткина большинство из них не было известно и у нас. Очевидно, что при этих условиях работы Ломоносова по физике и химии не могли оказать должного влияния на развитие как мировой, так и нашей науки.

Почему же это произошло?

Первой причиной того, что работы Ломоносова были мало известны за границей, могло быть, казалось бы, то, что он не придавал значения приоритету своих открытий и недостаточно публиковал свои работы. Приоритету

в научной работе в те времена придавали не меньше значения, чем теперь. Достаточно вспомнить спор о приоритете изобретения дифференциального исчисления между Ньютоном и Лейбницем, который принял оборот крупного дипломатического инцидента; при этом карьера Лейбница сильно пострадала.

Дошедшие до нас материалы показывают, что и Ломоносов придавал значение приоритету, поэтому он публиковал свои работы либо по-латыни, либо по-немецки: обоими языками он прекрасно владел. Свидетельством того, что Ломоносов заботился, чтобы его научные работы были известны за рубежом, служит следующий факт. В 1753 г., когда Рихман был убит молнией, общее со-

334

брание Академии наук было отложено, но Ломоносов просил, чтобы ему была дана возможность произнести его речь об электричестве, «пока она не утратила новизны». Поэтому президент Академии наук граф Разумовский в день празднования коронации повелел устроить акт, «дабы господин Ломоносов с новыми своими произведениями между учеными в Европе людьми не опоздал и через то труд его в учиненных до сего времени электрических опытах не пропал». Речь Ломоносова была после этого разослана многим иностранным ученым. Известно также, что Ломоносов писал о своих работах Эйлеру и ряду других ученых. Следует вспомнить, что личная переписка между учеными в то время рассматривалась как один из наиболее эффективных методов научной информации и все широко ею пользовались. Таким образом, нет никаких оснований считать, что как за рубежом, так и у нас ученые не могли знать о работах Ломоносова. Они их знали, но не обращали на них должного внимания.

Некоторые биографы Ломоносова высказывали предположение, что отсутствие внимания к работам Ломоносова происходило от того, что его идеи были чересчур передовыми. Мне думается, что это предположение тоже неосновательно. Действительно, живой и смелый ум Ломоносова захватывал почти все области естествознания, находящиеся в кругу интересов тогдашней «натурфилософии». По широте охвата трудно назвать другого ученого, современника Ломоносова, с такими же разносторонними интересами и знаниями. Теоретические концепции Ломоносова в тех областях науки, где он непосредственно вел свои экспериментальные работы,— учение о теплоте, о состоянии вещества, химия,— поражают тем, что они до деталей совпали с тем путем, по которому развивались эти области после Ломоносова и развиваются по сей день.

Весьма поразительно для современного читателя то, что Ломоносову была совершенно ясна кинетическая природа тепла. Он картинно связал нагрев тела с возрастанием поступательного и «колесного» движения (вращательное движение) атомов и молекул, которые он называл, конечно, иначе. В физике тогда господствовало ложное представление о существовании «теплорода». Хотя эти взгляды Ломоносова были передовыми, но он не был их одиноким адептом, например, их

335

разделял также Бернулли. Развивал эти взгляды Ломоносов чрезвычайно последовательно и логично, например, он вплотную подошел к понятию абсолютного нуля. В «Размышлении о причине теплоты и холода» в § 26 он говорит «о высшей возможной степени холода, вызванной полным покоем частичек, прекращением всякого движения их».

Иллюстрацией убежденности Ломоносова в справедливости своего представления о физической сущности тепла может служить следующий любопытный факт. В 1761 г. Ломоносов написал записку «О размножении и сохранении российского народа». В этой записке он рассмотрел те разнообразные причины, которые вызывали в России высокую смертность, и выдвинул ряд мероприятий борьбы с ней. Так, в § 7 он пишет, что надо крестить детей всегда в теплой воде: «Попы исполняют предписание требника, чтобы вода была натуральная, без примесей, и вменяют теплоту за примешанную материю, а не думают того, что летом сами же крестят теплой водой, по их мнению смешанной, и так сами себе прекословят; а особенно по своему недомыслию не знают, что и в самой холодной воде еще теплоты очень много. Однако невеждам попам физику толковать нет нужды».

Интересно, что эта записка никогда в царское время не была опубликована, так как высказанные в ней мысли были чересчур революционны.

Идеи Ломоносова, направлявшие его работы в области химии, были тоже совершенно правильные и передовые. Он всегда исходил из атомистического представления, он близко подошел к идее молекулярного строения

химических соединений. В научных исследованиях по химии он считал необходимым применение количественного метода. Он разработал точные методы взвешивания. Считал важным применение по возможности чистых реактивов. Вот этот количественный подход к изучению химических реакций и привел его к необходимости экспериментального доказательства закона сохранения материи. Все это дает полное основание считать Ломоносова основоположником внедрения физических методов исследования в химию в том ее понимании, какое существовало в XVIII веке.

В области электричества Ломоносов работал меньше. Опыты его современника Франклина были ему извест-

336
ны, и он их повторял, но главный интерес Ломоносов проявлял к вопросам, связанным с атмосферным электричеством. Его происхождение он связывал с восходящими и нисходящими потоками воздуха, которые всегда сопровождают грозные тучи. Этот взгляд и по сей день считается правильным, но сам механизм возникновения заряда облака оказывается настолько плохо поддающимся изучению, что до сих пор он окончательно не установлен.

В области волновой оптики Ломоносов вместе с Эйлером правильно поддерживал волновую теорию света, предложенную Гюйгенсом, на пути признания которой стоял авторитет Ньютона, упрямо настаивавшего на своей ошибочной корпускулярной теории света. Но в дальнейшем развитии теории света Ломоносов пошел по ошибочному пути. То же произошло и с Эйлером.

Большой интерес представляет самое крупное заблуждение Ломоносова в одном из фундаментальных вопросов физики.

Как известно, Галилей открыл один из самых удивительных законов природы. Он установил, что масса тела независимо от его природы пропорциональна силе тяготения, или в данной точке пространства просто его весу. Ньютон показал, что этот закон выполняется с большой точностью. Эксперимент Ньютона очень прост, точен и убедителен. У себя в комнате в колледже, в дверном проеме он подвесил два маятника одинаковой длины, но изготовленные из разных веществ. Оказалось, что маятники всегда колебались строго изохронно независимо от подвешенного вещества. Это могло иметь место только тогда, когда масса тела точно пропорциональна его весу.

Ломоносов считал, что это неправильно. Он начал высказываться на эту тему в 1748 г. и продолжал до 1757 г. Все эти высказывания относились ко времени значительно более позднему, чем опыты Ньютона с маятником. Но Ломоносов все время удивительно упорно боролся против этого закона. Так, в 1755 г. Ломоносов предлагает выдвинуть в качестве задачи на премию Академии наук экспериментальную проверку «гипотезы, что материя тел пропорциональна весу». Постановка этой задачи, как противоречащей взглядам великого Ньютона, встретила возражения в Академии наук, и Эйлер был приглашен в качестве судьи. Эйлер, который обычно был на стороне Ломоносова, в данном случае

337

не поддержал его и был против постановки такой задачи.

Следует отметить, что единственный ученик Ломоносова С. Я. Румовский тоже не разделял взглядов Ломоносова, как это видно из его писем к Эйлеру в 1757 г. Румовский, ставший впоследствии академиком, учился математике два года у Эйлера в Берлине и, конечно, хорошо знал механику Ньютона. Возможно, что тогда Румовскому удалось показать Ломоносову его заблуждение, так как я не нашел указаний на то, что после 1757 г. Ломоносов вновь подымал этот вопрос.

Ничто так не поучительно, как заблуждение гения. Мне кажется, что в данном случае это заблуждение имеет не случайную, а более глубокую причину. Чтобы уверенно разобраться в этом вопросе, требовалось уделить ему гораздо больше времени, чем я мог.

Я предполагаю, что причина заблуждения Ломоносова связана с одной философской концепцией, которой он ошибочно решил придать универсальное значение. Эта концепция Ломоносова заключалась в том, что движение в природе всегда сохраняется, никогда не возникает и не пропадает, но только передается от одного тела к другому и при этом только через непосредственное прикосновение. Мы знаем, что такое представление справедливо в случае упругого соударения шаров. Теперь мы также хорошо знаем, что, рассматривая столкновение между атомами и молекулами как столкновение между упругими сферами, можно построить полную и правильную картину кинетической природы тепла. Поэтому понятно, почему Ломоносов, приняв, с одной сто-

роны, атомистическое строение вещества, с другой — подчинил взаимодействие между атомами законам столкновения упругих тел и смог первым правильно построить полную картину тепловых явлений на основе кинетической концепции. Как я уже говорил, он не только подошел к определению абсолютного нуля, но также вплотную подошел к формулировке закона сохранения энергии, конечно, не в общем виде, но только при переходе кинетической энергии в тепловую.

Ошибка Ломоносова была в том, что он придал своей концепции универсальный характер и начал считать, что в природе существует только единственный способ взаимодействия между телами, и это через соприкосновение. Возможность действия на расстоянии через тяготение

338

или электрическое взаимодействие Ломоносов отрицал. Развивая такие представления, он считал, что если тело под влиянием тяжести приобрело скорость, то необходимо, чтобы при этом окружающая тело среда потеряла скорость. Среда, обладающая таким свойством продолжать движение, конечно, была гипотетична, и ее существование в природе Ломоносов постулировал. Аналогичным путем он пытался описать и электрическое взаимодействие между телами.

Нетрудно понять, что на основании таких представлений Ломоносову не только не удалось нарисовать четкую картину явлений, связанных с взаимодействием тел на расстоянии, но это привело его к отрицанию существования универсальной связи между весом и массой тел.

Трудно понять, как мог Ломоносов, развивая эти взгляды, не считаться с описанными опытами Ньютона с маятником. Возможно, что он их либо не знал, либо не понимал; я не смог нигде найти у Ломоносова упоминания об этих опытах. При знакомстве с курсом физики Вольфа, по которому учился Ломоносов и который он перевел на русский язык, бросается в глаза, что там работам Ньютона по механике не отводится должного внимания. Об описанных опытах с маятником тоже нет упоминания. Интересно, что единственный вопрос механики, которому Вольф уделяет внимание,— это как раз соударение шаров. Я сравнивал писания Христиана Вольфа с писаниями других физиков того времени; он на меня производит впечатление ученого с ограниченным физическим мышлением. Известно, что своей славой он был обязан работам на отвлеченные философские темы. По-видимому, Вольф не привил Ломоносову элементов конкретного математического мышления, без которого трудно воспринимать механику Ньютона.

Как я указывал, Ломоносов не имел возможности встречаться с такими учеными, как Бернулли и Эйлер, которые не только прекрасно знали механику Ньютона, но и сами прославились тем, что развили ее для сплошной среды. Можно с уверенностью сказать, что если бы такое общение существовало, то не произошло бы этого заблуждения Ломоносова.

Самое печальное в судьбе Ломоносова было то, что он мог уделить своим экспериментальным работам лишь небольшую долю своей энергии и времени. Но при своей большой эрудиции и исключительной фантазии он не

339

имел возможности подвергать все высказываемые им гипотезы экспериментальной проверке. Поэтому так и происходило, что в тех областях, где Ломоносов работал экспериментально, его теоретические и философские представления лежали на правильном пути. Но там, где он был оторван от практики и где пытался постигнуть истину дедуктивным путем, он часто сбивался с правильного пути. Если бы он был поставлен в такие условия, где он мог бы более широко развернуть свою экспериментальную работу, например имел бы много учеников, то, наверное, ошибочных гипотез было бы много меньше. Со своей исключительной фантазией Ломоносов мог бы быть руководителем большой научной школы. Но условий для создания такой школы в России того времени не было.

Таким образом, объяснение, что Ломоносов как ученый не был признан потому, что он далеко оторвался от действительности, не имеет оснований.

Здесь уместно вспомнить о том, что вообще в истории русской науки изоляция русских ученых от мировой науки часто имела место. Мне думается, что следует искать общую причину, которая более глубока, чем перечисленные. Но прежде чем перейти к ее рассмотрению, я думаю, полезно кратко напомнить о другом непризнанном русском открытии, чрезвычайно напоминающем случай с Ломоносовым.

В самом начале XIX в. у нас было сделано очень крупное открытие в физике, которое тоже не имело должного влияния на мировую науку. Это произошло в 1802г., когда Василий Владимирович Петров открыл явление

электрического дугового разряда в газе, названное им «вольтовой дугой». Мы сейчас все хорошо знаем всю последующую громадную роль дугового разряда как в науке, так и в технике. Но теперь, в наше время, нам трудно по заслугам оценить все трудности открытия этого фундаментального явления, сделанного впервые Петровым. Оно было сделано через 11 лет после открытия гальванического тока и всего лишь через три года после создания Вольта гальванического столба. Конечно, за эти три года о гальваническом токе было мало что известно. Самому Петрову не только пришлось делать батареи, которые состояли из 4200 медных и цинковых дисков, сложенных в столб, имеющий длину более 3 метров, но и самому делать проволоку, изолируя ее сургучом,

340

Петров наблюдал дуговой разряд не только при нормальном давлении, но и при пониженном, пропуская ток в колоколе вакуумного насоса. Обнаружение такого типа разряда можно сейчас рассматривать как открытие им плазмы. Хотя работы Петрова и были опубликованы многими научными учреждениями того времени, все же открытие дугового разряда обычно приписывается Дэви, хотя оно было им сделано только в 1810 г. Петрову принадлежит еще ряд интересных работ по люминесценции, по химии. Он, по-видимому, впервые произвел разложение воды электролизом, но все эти работы тоже не оказали должного влияния на мировую науку.

Биография Петрова весьма поучительна. Сын приходского священника, он начал свою деятельность скромным учителем в Барнауле в провинциальном училище, впоследствии достиг положения профессора физики в Медико-хирургической академии в Петербурге. Петров, как и Ломоносов, был ученый-одиночка, и он тоже на оставил после себя школы. Его работы и он сам остались неотмеченными в истории науки не только за границей, но и у нас. Не сохранилось портрета Петрова, и только недавно стало известно, где он похоронен. Для меня нет никакого сомнения, что по своим научным открытиям Василий Владимирович Петров должен был бы занять одно из самых первых мест не только в нашей, но и в мировой науке, как крупнейший физик-экспериментатор.

Часто приходится слышать, что невнимание к достижениям русских ученых объясняется тем, что культура славян обычно на Западе рассматривалась как играющая второстепенную роль и ее не стоило учитывать в истории мировой культуры. Несомненно, в XVIII и XIX вв. такое отношение к славянам вообще и к русским в частности довольно часто имело место, но я думаю, что оно не может служить объяснением поставленного вопроса, так как история науки показывает, что оценка научных достижений крупных ученых всегда лежала за пределами национальных границ. Признавали же Коперника, хотя он был славянин. Достаточно также вспомнить, как неоднократно высоко Эйлер отзывался о работах Ломоносова. К тому же это не объясняет, почему мы сами так недооценивали научную деятельность Ломоносова, Петрова и ряда других русских ученых.

341

Мне думается, что объяснение надо искать в тех условиях, в которых наука развивается в стране. Недостаточно ученому сделать научное открытие, чтобы оно оказало влияние на развитие мировой культуры,— нужно, чтобы в стране существовали определенные условия и существовала нужная связь с научной общественностью за границей. Если этих условий нет, то даже такие замечательные научные работы, какие делали Ломоносов и Петров, не смогут оказать влияние на развитие мировой культуры. Вот на этих условиях, которые были необходимы во времена Ломоносова так же, как и важны в наши дни, я и хочу остановиться.

Как я уже говорил, с XVI в. благодаря сотрудничеству ученых в интернациональном масштабе естественные науки стали развиваться значительно быстрее, чем раньше. Это могло произойти только потому, что для всего человечества эти науки, когда они развиваются на опытной основе, едины. Это свойство единства материалистической науки и сделало возможным ее развитие в широком интернациональном содружестве ученых. Схема, по которой проходит интернациональное содружество ученых, хорошо известна и остается сейчас той же, какой она была во времена Ломоносова.

В различных странах имеются свои группы научных работников, которые находятся при университетах, академиях или других научных институтах. Поскольку каждая научная область или проблема может развиваться только по одному пути, то, чтобы не сбиваться с этого истинного пути, приходится медленно двигаться и тратить много сил на поисковые работы. Сотрудничество в научной работе распределяется между коллективами

ученых, работающих по данному вопросу. Работы ученого, проходящие вне коллектива, обычно остаются незамеченными.

Жизнь неизменно показывает, что такая коллективная работа ученых как внутри страны, так и в международном масштабе возможна только при личном контакте. Ученому, чтобы его научная работа была признана, нужно не только ее опубликовать, но он еще должен убедить людей в ее справедливости и доказать ее значение. Все это успешно можно сделать только при личном контакте. Как во времена Ломоносова, так и в наше время, чтобы ученый своими работами мог влиять на коллективную работу, необходимо личное общение, необходим

342

живой обмен мнениями, необходима дискуссия, всего этого не может заменить ни печатная работа, ни переписка. Почему это происходит, не так легко объяснить. Я думаю, что большинство из нас по своему опыту знает, как необходим личный контакт между людьми при согласовании творческой деятельности. Только когда видишь человека, видишь его лабораторию, слышишь интонацию его голоса, видишь выражение его лица, появляется доверие к его работе и желание сотрудничества с ним. По этой же причине никакой учебник не может заменить учителя.

Сейчас необходимость личных контактов между учеными принимается как нечто само собой разумеющееся как нашими, так и зарубежными учеными. Таких контактов становится все больше, и теперь обычно они осуществляются в широких масштабах путем конгрессов и съездов.

Во времена Ломоносова личные встречи ученых уже были широко развиты. Обычно это происходило так. По данной области знания в какой-либо стране образовывался ведущий центр научной работы. Естественно, что такой центр привлекал к себе других ученых, часто работающих одиноко. В XVIII в. наиболее сильной наука была в Англии. Это объясняется исключительным для того времени богатством страны, меценаты которой поддерживали науку, и она могла более широко развиваться. Туда, например, ездил Франклин, который, подобно Ломоносову, был в Америке ученым-одиночкой. Он добился признания своих замечательных работ по электричеству, когда доложил их в Лондонском Королевском обществе. Также после поездки в Лондон полного признания добился Левенгук для своих работ по микроскопу, к которым вначале относились с недоверием.

Трагедия изоляции от мировой науки работ Ломоносова, Петрова и других наших ученых-одиночек и состояла только в том, что они не могли включиться в коллективную работу ученых за границей, так как не имели возможности путешествовать за границу. Это и есть ответ на поставленный нами вопрос — о причине отсутствия влияния их работ на мировую науку.

Теперь нам остается еще остановиться на вопросе, почему у нас в стране научная работа Ломоносова так долго не получала признания.

Совершенно ясно, что для признания ученого необходимо, чтобы окружающее его общество было на таком

343

уровне, чтобы оно могло понимать и оценивать его работу по существу. Ни административно-чиновничий аппарат, ни вельможи, окружавшие Ломоносова, конечно, не могли понять значения его научных работ, и поэтому признание его работ по физике и химии только тогда стало возможным, когда у нас в стране появилась своя научная общественность.

Следует остановиться на этом уроке истории, чтобы оценить ту громадную роль, которую играет общественность в организации науки. Сейчас нам это очень важно, так как перед нами поставлена задача создания самой передовой науки.

Хорошо известно, что для успешного развития любой творческой работы необходима связь с обществом. Писатель, актер, музыкант, художник полноценно творит и развивает свой талант, только если он связан с общественностью. Творчество ученого тоже не может успешно развиваться вне коллектива. Больше того, как уровень искусства в стране определяется вкусами и культурой общества, так и уровень науки определяется степенью развития научной общественности. Трагедия Ломоносова усугублялась еще тем, что, как я уже говорил, у нас в стране не было тогда своей научной общественности. Отсутствие здорового критического коллектива затрудняло Ломоносову возможность видеть, где он шел в своих исканиях правильным путем и где он ошибался.

Поэтому Ломоносов не мог проявить полную силу своего гения. Он болезненно переживал отсутствие понимания и признания своих работ у себя в стране, так же как и за рубежом. Он не получал того полного счастья от своего творчества, на которое он имел право по силе своего гения.

Нетрудно видеть, что для развития передовой науки необходимо, чтобы была передовая научная общественность. Если бы мы не создали своей передовой научной общественности, то, сколько бы Ломоносовых у нас ни рождалось, мы не смогли бы создать в стране передовой науки. Создание здоровой передовой научной общественности — это крупная задача, на которую мы недостаточно еще обращаем внимания. Это труднее, чем обучение отобранной талантливой молодежи для научной работы или постройка больших институтов. Создание здоровой общественности включает в себя воспитание широких слоев людей, связанных с научной работой.

344

Их надо приучить широко интересоваться наукой, уважать и любить свою науку, уметь объективно оценивать достижения нашей науки и поддерживать все действительно крупное и лучшее в науке. Ведь только научная общественность, которая умеет правильно оценивать научное достижение, может помочь ученому идти по правильному пути.

Только передовая научная общественность может оценить познавательную силу научного достижения, независимо от его непосредственного практического значения. Все естественные науки могут развиваться в правильном направлении, только опираясь на здоровую научную общественность. Как я уже отмечал, мы открыли и признали Ломоносова в начале нашего века не случайно, но только потому, что у нас к этому времени начала расти своя здоровая научная общественность. Общественность в физике выросла у нас, когда для научной работы улучшились материальные условия и появилась возможность нашим крупным ученым того времени — Лебедеву, Рождественскому, Лазареву, Иоффе — создать свои школы.

Сейчас, при социализме, когда в основу развития государства положена наука, влияние и значение нашей научной общественности быстро растёт. Надо помнить, что для того, чтобы наша наука была самой передовой, наша научная общественность тоже должна быть самой передовой. Она должна быть ведущей и авторитетной, так чтобы ее суждения и оценки были признаны в мировом масштабе.

НАУЧНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ВЕНИАМИНА ФРАНКЛИНА

Доклад на торжественном заседании, посвященном 250-летию со дня рождения В. Франклина

1956

У неба он похитил молнию, У тиранов — скипетр.

(Тюрго о Франклине)

Франклин родился в Америке, в городе Бостоне, в 1706 г. Он умер, когда ему было 84 года. Его деятельность охватывает весь XVIII век и тесно связана с

345

проходившим тогда быстрым развитием естественных и общественных наук. Это эпоха просветителей, эпоха, предшествующая периоду коренных общественных переворотов в Европе.

Имя Франклина вошло в историю мировой культуры не только как имя крупнейшего ученого, одного из основателей учения об электричестве, но и как имя крупнейшего прогрессивного государственного и общественного деятеля Америки, принимавшего живейшее участие в борьбе за ее освобождение от колониального положения. Современники единодушно описывают Франклина как исключительно обаятельного человека, всесторонне образованного, с гуманными и широкими взглядами, интересного и остроумного собеседника. Франклин часто путешествовал и много лет прожил за границей, главным образом в Англии и Франции. Здесь он широко общался с передовыми людьми своего времени и к концу жизни стал популярнейшим лицом в Европе.

На своей родине, в Америке, Франклин по сей день является одним из наиболее почитаемых людей за все время истории США. Разносторонняя деятельность и жизнь Франклина хорошо изучены и известны, им посвящено много трудов.

Основные научные открытия Франклина в области электричества были им сделаны в 50-е годы XVIII в., до работ Гальвани и Вольты, т. е. до эпохи гальванического тока, и относятся к начальному периоду завоевания наукой этой могучей силы природы.

За 200 лет, прошедшие со времени работ Франклина, учение об электричестве настолько продвинулось вперед, что сейчас работы Франклина изучают в средней школе, в тех классах, где только начинают знакомиться с физикой. Всем нам с юности известны основы учения о статическом электричестве, хотя, возможно, некоторые из нас могли позабыть, что, собственно, здесь было сделано Франклином. Например, все ли из нас помнят, что наименование положительного и отрицательного полюсов было впервые введено в науку Франклином?

Подробное описание научных работ Франклина навряд ли сейчас интересно, но сама история развития работ Франклина в области электричества, мне думается, не только интересна, но и полезна для современного ученого. Следует это из того, что путь развития науки, т. е. путь познания природы, по которому идет

346

человечество,— единый. В своих исканиях научных истин мы нередко сбиваемся с правильного пути, и тогда теряется время. Поэтому, чем меньше мы будем отклоняться от правильного пути, тем скорее и экономичнее будут развиваться наши познания и завоевание сил природы. Изучая историю науки, мы находим те факторы, которые способствуют быстрому развитию науки. С этой точки зрения история научных работ Франклина представляет исключительный интерес.

Работы Франклина по электричеству были им сделаны за короткий период времени, всего за 7 лет, с 1747 по 1753 г. Впервые он начал заниматься научной работой, когда ему уже был 41 год. К этому времени Франклин уже стал состоятельным человеком. Созданные им в Филадельфии, тогда еще небольшом городе, печатное дело, газета, знаменитый альманах и другие печатные издания пользовались большим успехом. Научной работой Франклин начал заниматься совершенно случайно, после того как ему пришлось присутствовать на популярной лекции с демонстрациями по электричеству. Такие лекции были тогда распространены, так как ряд электрических явлений, как-то: отталкивание и притяжение наэлектризованных тел, электрическая искра, неприятные ощущения, вызываемые пропусканием разряда через человека,— были тогда новыми и совершенно необычными и служили прекрасным материалом для популярных научных лекций.

Незадолго до того, как Франклин присутствовал на лекции по электричеству, была изобретена лейденская банка, которая впервые дала метод конденсации электричества в заметном количестве. Возможность производить опыты со значительным запасом электричества сразу сделала демонстрации электрических явлений более яркими.

Франклин очень увлекался опытами по электричеству, и в продолжение семи лет большую часть своего времени он посвятил научной работе. Эти работы в то время, несомненно, стали ведущими в развитии учения об электричестве и получили мировое признание. За этот короткий срок Франклин был признан ведущим ученым своего времени. Большинство крупных научных обществ или академий отметило научные заслуги Франклина, избрав его своим членом, и ряд университетов присвоил ему почетное звание доктора,

347

Естественно, возникает вопрос: как могло случиться, что Франклин, раньше никогда не занимавшийся физикой, на отлете, в небольшом городе Америки, вдали от центров мировой науки, будучи уже человеком зрелого возраста, смог за несколько лет работы возглавить развитие целой научной дисциплины?

И это произошло в середине XVIII в., когда наука велась людьми на уровне знаний таких ученых, как Ньютон, Гюйгенс, Эйлер. О дилетантизме здесь говорить не приходится. Как же мог Франклин достичь таких результатов, которые остались недоступны профессиональным ученым?

Мне думается, что надо искать объяснение в том, что Франклин первый правильно понял существо электрических явлений и поэтому открыл правильный путь для дальнейших исследований в этой области. Аналогичный резкий сдвиг в развитии целой важнейшей области физики — радиоактивности — произошел на глазах многих из нас.

После того как в 1896 г. Беккерель открыл явление радиоактивности, в продолжение ряда последующих лет накапливался богатейший опытный материал по изучению физических явлений, связанных с радиоактивными свойствами вещества. Во всем этом разнообразии опытного материала не имелось порядка, поскольку сущность самого явления радиоактивности не была понята. Резерфорд первый нашел, что физические явления, связанные с радиоактивностью, сразу же объясняются, если предположить, что радиоактивность является процессом распада материи. Для того чтобы это увидеть, от Резерфорда не требовалось глубокой эрудиции, но, главное, нужно было его большое воображение, прозорливость и смелость. На таких начальных этапах

развития науки точность и пунктуальность, присущая профессиональным ученым, может скорее мешать выдвиганию такого рода смелых предположений.

В начальной стадии изучения электричества требовалось, чтобы был сделан такой смелый шаг. И Франклин его сделал.

До работ Франклина было уже накоплено большое количество опытного материала, но факты были разрознены, и выдвинутая им гипотеза не только объединяла эти факты в стройную картину, но и указывала правильный путь для дальнейших исследований.

348

Свою основную гипотезу Франклин изложил в письме к Питеру Коллинзону в 1749 г. Она дает ясную картину процессов, происходящих при электризации тел. Эта картина до сих пор в основном остается правильной. Вот выдержка из этого письма: «Электрическая материя состоит из частиц крайне малых, так как они могут пронизывать обычные вещества, такие плотные, как металл, с такой легкостью и свободой, что не испытывают заметного сопротивления». В наши дни мы называем эти «крайне малые частицы» электронами. Далее Франклин рассматривал любое тело как губку, насыщенную этими частицами электричества. Электризация тел состоит в том, что тело, имеющее избыток электрических частиц, положительно заряжено; если тело имеет недостаток этих частиц, оно заряжено отрицательно. Количественно Франклин это доказал очень наглядным опытом.

Представим себе, что два человека стоят на восковых подушках, т. е. изоляторах. Один из них трением электризует стеклянную палочку. Тогда, если он касается ею другого человека, они оба становятся наэлектризованными по отношению к земле, что просто доказывается тем, что любой из них, касаясь заземленного предмета, вызывает искру. Если же сразу после электризации стоящие на изоляторах люди коснутся друг друга, то между ними проскочит искра, после этого их наэлектризованность по отношению к земле пропадает. Это доказывается тем, что при прикосновении к заземленному предмету искры не возникнет.

Гипотеза Франклина исходила из материальной природы электричества и просто объясняла эти опыты. Если изолированный человек касается другого изолированного человека стеклянной палочкой, один из них теряет электрическую материю, другой в той же мере ее приобретает. Один из них заряжен положительно, другой — отрицательно. Если они касаются друг друга, то происходит разряд и, поскольку сохраняется постоянное количество электрической материи, прежнее равновесие восстанавливается:

Конечно, Франклин тогда не имел возможности на опыте воспринимать материальный характер электричества и поэтому не имел возможности определить, кто на самом деле получает электрическую материю и, следовательно, заряжен положительно и кто ее теряет, т. е.

349

заряжен отрицательно. Поэтому он принял наугад, что наэлектризованное стекло заряжено положительно, может быть думая, что шерстяная материя при трении о стекло втирает в него электричество. Только в конце прошлого века, после открытия частиц электричества — электронов, стало известно, что не положительный электрод, как думал Франклин, накапливает электрические частицы, но отрицательный. Чтобы не менять привычных обозначений положительной и отрицательной полярности, электрону приписали отрицательный заряд.

Я приведу еще один опыт Франклина, который тоже представляет крупный научный интерес.

Свойство взаимного отталкивания одноименных заряженных тел Франклин распространил на заряды, находящиеся на металлических проводниках. Он считал, что заряды, отталкиваясь друг от друга, будут стремиться на наружную часть наэлектризованного металлического тела. Он доказал справедливость своего предположения следующим опытом.

Металлический чайник ставился на изолятор и электризовался. Требовалось найти опыт, который доказал бы, что заряд распределяется по наружной поверхности чайника. Для этого внутрь чайника помещалась цепь, которую посредством изолированной ручки можно было постепенно извлекать из чайника. Степень электризации чайника определялась по отталкиванию двух шариков, подвешенных к нему на ниточках. Опыт заключался в том, чтобы за изолированную ручку подымать цепь из чайника и наблюдать, как по мере ее вытягивания степень электризации чайника уменьшается.

Франклин рассуждал так: пока цепь находится внутри чайника, ее поверхность увеличивает внутреннюю поверхность чайника; когда цепь вытягивают наружу, то она увеличивает наружную поверхность чайника.

Франклин заключает: если заряд распространяется только по наружной поверхности наэлектризованного проводника, то только при ее увеличении наэлектризованность будет уменьшаться. Это и наблюдается на самом деле, когда производится опыт.

Я привел эти два опыта не только как гениальные по своей простоте, но и как наиболее фундаментальные по своим результатам. Описание всех своих работ Франклин дает в письмах своему другу Коллинзону в Англии.

350

В этих письмах описывается большое количество различных опытов, которые теперь стали классическими: получение электрического ветра, изучение свойств стекания зарядов с острия и др. В этих же письмах Франклин, с точки зрения своей гипотезы, дает правильное объяснение ряда уже известных электрических явлений, например картины накопления электрических зарядов в лейденской банке, и на этом основании он делает плоский конденсатор. Коллинзон докладывал о работах Франклина в Королевском обществе. Потом он издал их отдельной книгой, которая и стала основным научным трудом Франклина. Эта книга выдержала ряд изданий и была переведена на многие языки.

Я не буду описывать других опытов Франклина, лишь упомяну о его опытах, доказывающих электрическую природу молнии. Эти опыты стали знамениты еще при жизни Франклина и принесли ему наибольшую известность. Хотя и до Франклина высказывалась гипотеза, что молния и разряд, получаемый от электричества, созданного трением,— одно и то же явление, хотя и разных масштабов, но опытных доказательств справедливости этой гипотезы не было найдено.

Ясность и правильность понимания Франклином явлений электризации дали ему возможность найти опыт, который впервые убедительно доказывал электрическую природу грозовых разрядов. Идея опыта Франклина заключалась в следующем.

Положим, между грозовой тучей и землей поставлен длинный вертикальный, изолированный от земли металлический стержень. Если грозовая туча имеет электрический заряд, то заряд противоположного знака находится в верхней части стержня. Если на этом верхнем конце стержня сделать острие, то наведенный заряд стечет и стержень зарядится электричеством того же знака, что и туча.

Франклин считал, что присутствие этого заряда можно будет обнаружить по искре, которая возникает, если прикоснуться к проводнику свободным концом заземленной проволоки. Франклин предполагал,— как потом выяснилось, ошибочно,— что для успеха этого опыта стержень надо поставить на возвышенность, чтобы он был ближе к облаку. Так как вблизи его дома такой возвышенности не было, он думал, что ему не удастся сделать этот опыт. Он подробно описал, как его надо

351

делать, и предлагал это выполнить другим. Сам же он решил проделать аналогичный опыт, но несколько другим путем, который не требовал возвышенности.

Для этого опыта вместо металлического стержня он решил использовать бечевку, поднимая ее вверх змеем. Поскольку во время грозы всегда бывает ветер, змей можно запустить, а так как идет и дождь, то веревка, намокая, станет проводящей и может заменить металлический стержень. Чтобы бечевка легче заряжалась, была предусмотрена возможность на верхнем конце бечевки дать стекать наведенным зарядам. Для этого по углам рамки змея Франклин поместил острия. Для того чтобы изолировать бечевку от земли, внизу к ней была привязана шелковая лента, которая была защищена от дождя. К концу бечевки у земли был подвешен металлический ключ, из которого Франклин во время грозы и извлекал искру. Таким путем в присутствии своих друзей и знакомых он доказал электрическую природу грозового разряда. Опыт со змеем сделан Франклином 12 апреля 1753 г., тогда же он впервые нашел, что грозовые облака, как правило, бывают заряжены отрицательно.

Французский ученый Далибар построил в Марли, точно по описанию Франклина, изолированный стержень, и 10 мая 1752 г. во время грозы на опыте в первый раз от него были получены электрические искры, и этим успешно, несколько раньше самого Франклина, но по его методу, была доказана электрическая природа грозы. Технические детали как этих опытов Франклина, так и других очень интересны, так как показывают его большую экспериментальную изобретательность.

При знакомстве с историей развития работ Франклина вызывает удивление та быстрота, с которой взгляды Франклина входили в науку. Несмотря на оппозицию ряда видных ученых, как, например, аббата Нолле или

Вильсона, идеи Франклина в очень короткий срок прочно внедрились в науку. Конечно, научная истина всегда пробьет себе путь в жизнь, но сделать этот путь скорым и более прямым зависит от людей, а не от истины. В этом отношении деятельность Франклина и сейчас может быть примером того, как, говоря современным языком, внедрять свои научные достижения.

352

Всякую свою работу Франклин стремился сразу же сделать достоянием возможно более широкого круга людей. У себя в Филадельфии из местных граждан он организовал философское общество, там он проводил демонстрации, читал лекции. Франклин часто бывал за границей, где он широко общался с научной общественностью. Франклин вел интенсивную научную переписку с рядом ведущих ученых Франции, Италии и Англии, даже и тогда, когда Америка воевала с Англией. Он самостоятельно изучил французский, итальянский и испанский языки, он также знал латынь.

Особенно ярко его способность бороться за новые идеи обнаружилась, когда ему пришлось внедрять в жизнь громоотвод. Но об этом речь впереди. Сейчас вернемся к вопросу о дальнейшем развитии работ Франклина по электричеству.

В связи с идеями Франклина ученые многих стран были заняты экспериментами по изучению природы электричества. У нас в Петербурге Ломоносов и Рихман построили стержни для изучения атмосферного электричества и назвали их «громовой машиной».

К сожалению, работы Ломоносова не только в области электричества, но, главное, в области химии, где он впервые открыл закон сохранения материи, хотя и имели фундаментальное значение, но тогда не смогли оказать такого влияния на развитие мировой науки, как они, несомненно, того заслуживали.

Мне думается, что основная причина здесь в том, что социальные условия, в которых жил и творил Ломоносов, не давали ему возможности общаться с учеными других стран и бывать за границей. Изолированность работы Ломоносова и Рихмана, несомненно, также мешала влиянию русской науки на мировую.

Особенно печальна судьба Рихмана. В своих работах Рихман правильно указывал, что дальнейшее развитие экспериментальных работ Франклина должно идти по пути нахождения количественного описания явлений электризации. Изыскивая метод количественного измерения заряда наэлектризованного стержня, «громовой машины», во время грозы, Рихман, чтобы произвести количественный отсчет, неосторожно наклонился и приблизился чересчур близко к проводнику. Он был убит наповал электрическим разрядом в голову. Это произошло в 1753 г.

353

После работ Франклина наиболее крупным этапом в развитии науки об электричестве был переход к количественному описанию электрических явлений. Это было сделано Кулоном, и только в 1785 г. Всем хорошо известно, как он на своих крутильных весах открыл фундаментальный закон взаимодействия электрических зарядов. Кулон нашел, что сила взаимодействия обратно пропорциональна квадрату расстояния между зарядами. Последовавшие затем теоретические работы Гаусса, Лапласа, Пуассона развили этот основной закон природы в ту стройную теорию электростатического поля, которой мы так широко пользуемся в наши дни. Но в истории развития учения об электрическом поле имеется одна сравнительно мало известная страница, которая имеет отношение к фундаментальным работам Франклина и о которой интересно напомнить.

Почти 100 лет спустя после работ Кулона, в 1877 г., Максвелл напечатал статью о неопубликованных работах Генри Кавендиша в области электричества. Максвеллу как первому директору Кавендишской лаборатории в Кембридже, построенной на средства потомков Кавендиша, был предоставлен архив Генри Кавендиша. В этом архиве он обнаружил совершенно готовую к публикации рукопись работы Кавендиша, экспериментально доказывающую тот же закон квадрата расстояния, открытый Кулоном. Экспериментальные доказательства в опыте Кавендиша существенно отличались от опыта Кулона, метод был более прост и доказательства более точны, чем у Кулона. Даты на рукописи Кавендиша не было, но Максвелл отнес ее, во всяком случае, к годам не позднее 1775, следовательно, по крайней мере на 10 лет раньше открытия закона Кулона.

В своих работах Кавендиш исходил из того, что можно теоретически показать, что на полом металлическом проводнике только тогда весь электрический заряд может распределиться на наружной поверхности, когда эти заряды отталкиваются друг от друга по закону квадрата расстояния. Но доказательство распространения заряда

по наружной поверхности проводника уже было сделано Франклином опытом электризованного чайника с цепью, о котором я говорил, надо было только найти способ сделать это доказательство более точным. Поэтому Кавендиш воспроизвел этот опыт более совершенным образом. Вместо чайника он взял полую ме-

354
таллическую сферу, а вместо цепи поместил внутри, concentрически ей, вторую металлическую сферу. Обе сферы могли быть или изолированы, или замкнуты, в зависимости от того, как это было нужно. Кавендиш выбрал concentрические сферы, потому что эта форма тел давала возможность количественно обрабатывать полученный результат опыта. Опыт Кавендиша заключался в доказательстве того, что заряд, сообщенный наружной сфере, распределяется только по ней и не переходит на внутреннюю сферу.

Максвелл организовал в Кембридже повторение опыта Кавендиша, но с более совершенным измерительным прибором, и показал, что закон второй степени Кулона справедлив с точностью почти до одной миллионной, в то время как методом крутильных весов Кулона этот закон можно было проверить с точностью немного более одного процента.

Тут возникает вопрос: почему в продолжение 100 лет такие первоклассные ученые, как Гаусс, Пуассон, Лаплас, и другие создатели теории электрического поля не заметили, что простой опыт Франклина с чайником мог уже служить для опытного доказательства справедливости одного из самых основных законов электростатического поля — закона Кулона?

Как могло случиться, что работа Кавендиша оставалась в продолжение 100 лет никому не известной? Максвелл в своей статье также указывает, что в этой же готовой для печати работе Кавендиша, кроме закона Кулона, был еще сформулирован и грубо проверен закон Ома. И это было сделано за 70 лет до того, как этот закон был открыт самим Омом.

Естественно задать вопрос: как могло произойти, что такой крупный ученый, как Кавендиш, которого многие называли «Ньютоном современной химии», мог пренебречь опубликованием этой работы по электричеству, которую он, конечно, не мог не считать фундаментальной?

Навряд ли история когда-либо найдет ответ на этот вопрос, но самое вероятное, что Кавендиш просто позабыл направить ее в печать.

Это объяснение сперва кажется невероятным, так как, казалось бы, его товарищи, ученые, должны были знать об этих работах и напомнить ему о них. Но здесь

355

вскрывается особенность характера Кавендиша — у него не было ни друзей, ни товарищей, он вообще избегал людей. Очень богатый человек, брат герцога Девонширского, он жил исключительно замкнутой жизнью, только занимаясь своей наукой. Даже прислуге его дворца было запрещено в его покоях попадаться ему на глаза. Ему подавали еду на стол до того, как он входил в столовую. Вот благодаря этой оторванности от людей научные работы Кавендиша, плоды его крупнейших научных достижений, сделанных в Англии, не оказали влияния на развитие мировой науки.

Уже много позже французские и немецкие ученые самостоятельно открыли эти законы природы. Они передали свои знания Людям, и по справедливости эти фундаментальные законы природы носят имена Кулона и Ома.

Кроме чисто научных работ, у Франклина есть еще одно общепризнанное достижение; это его изобретение — громоотвод. В истории внедрения в жизнь этого изобретения есть тоже много поучительного. Это длинная история, ей посвящены многие исследовательские работы. Поэтому я могу только совсем кратко рассказать, как Франклин изобрел и внедрил громоотвод.

Я уже говорил о том, что Франклин экспериментально доказал, что молния есть не что иное, как электрическая искра, происходящая между тучами и землей, когда они имеют противоположные электрические заряды. После того как была раскрыта сущность грозового разряда, естественно, встал вопрос, как можно рационально бороться с разрушениями и пожарами, причиняемыми молнией. Стало ясно, что когда молния ударяет в здание, корабль или любой другой возвышающийся объект, то вред причиняется тем, что мощный электрический ток, проходя по плохо проводящей среде, производит разрушения и воспламенения. Поэтому, если при ударе молнии в здание дать возможность электрическому разряду пройти в такой хорошо проводящей среде, как металл, разрушений не будет. Становилось понятным, почему здания с металлической крышей и сточными трубами были менее подвержены действиям грозových разрядов. Например, храм Соломона в Иерусалиме ни

разу за тысячу лет не подвергался разрушениям от грозы, так как он был покрыт полированными металлическими пластинами.

356

Естественно, что после работ Франклина, вскрывающих природу грозных разрядов, сразу у ряда лиц стали появляться идеи о возможности защиты от молнии отводом электрического заряда через хорошо проводящие металлические стержни.

Вполне возможно, что скромный священник по имени Прокоп Дивиш в небольшом городке в Чехии в 1754 г. самостоятельно, исходя из понимания процессов электрических разрядов и используя в качестве проводника для отвода тока заземленную цепь, установил над крышей своего дома устройство, близко напоминающее громоотвод Франклина. Затея эта кончилась печально, так как население городка, движимое суеверным страхом, сорвало и уничтожило это устройство.

Несомненно, Франклин с его острым практическим умом раньше всех других увидел возможность найти защиту от молнии путем отвода тока. Но гораздо труднее для него было найти наиболее рациональную форму громоотвода и заставить общественное мнение признать его как действенное средство борьбы с разрушениями, вызываемыми грозой. С этой задачей Франклин блестяще справился, и его деятельность в этом направлении до сих пор может служить примером, как нужно проводить новые технические идеи в жизнь.

Франклин не только не брал патента на свой громоотвод, но дал возможность им пользоваться безвозмездно всякому, кто этого хотел. Кроме того, он повел большую и искусную пропагандистскую работу для внедрения его в жизнь. За неимением времени нельзя рассказать полностью историю внедрения громоотвода, поэтому я остановлюсь на наиболее ярких моментах. Вполне возможно, что ни одно изобретение не вызвало такую бурю разнообразных возражений, которую вызвал 200 лет назад тот небольшой металлический стержень, который в наши дни венчает почти каждое сооружение и является стандартным элементом его конструкции.

200 лет назад возражения против громоотвода были самые разнообразные и возникали на самой различной почве, были и такие аргументы: «Молния в руках провидения — орудие возмездия, поэтому грех этому противиться». Другой не менее убедительный аргумент был: «Грозные бури происходят тогда, когда злые духи, демоны, выходят из повиновения всевышнему». По-

357

этому единственный правильный способ борьбы — это колокольный звон, который отгоняет злых духов. Вот почему долго считалось необходимым звонить в колокола во время грозы. Так как естественно, что церковные колокольни наиболее уязвимы при ударе молнии, то звонить во время грозы было небезопасным делом. Даже после изобретения громоотвода их долго не ставили на церкви и продолжали звонить в колокола.

В Германии в конце XVIII в. за 33 года было убито 120 звонарей и разрушено 400 колоколен.

Но главная борьба за громоотвод у Франклина сосредоточивалась не около суеверно-религиозных возражений, которыми были охвачены менее культурные слои населения. Борьба была с самой верхушкой тогдашнего общества. Против громоотвода возникли как научные возражения, так и политические.

Когда Франклин давал описание действия громоотвода, кроме его очевидной функции дать беспрепятственный путь электрическому току по металлическому стержню в землю, он еще указал на возможность существования и другого процесса.

Франклин считал, что если над сооружением находится грозная туча и если громоотвод снабжен острием, то с него может происходить медленное стекание электрического заряда. Это явление мы теперь называем тихим разрядом. Оно и будет нейтрализовать заряд облака и его разряжать. Поэтому Франклин допускал, что громоотвод не только защищает здание, но вообще может предотвратить грозные разряды. Научные противники Франклина считали, со своей стороны, что стекание заряда с острия не только не будет нейтрализовать заряд тучи, но будет создавать более благоприятные условия для возникновения молний. Поэтому громоотвод скорее вреден, так как дает возможность возникновения грозных разрядов, которых без него вообще не было бы.

Ученые, стоявшие на этой точке зрения, считали в особенности вредным и опасным для здания его соседство с другим, снабженным громоотводом.

Интерес общественного мнения к этим вопросам был очень велик, и это хорошо иллюстрируется известным случаем: когда в Сент-Омере, во Франции, господин де Виссери поставил громоотвод на своем доме, его соседи были этим так испуганы, что подали на него в суд. Про-

358
цесс произвел много шума и длился несколько лет в период между 1780 и 1784 гг. Интересно, что на стороне защиты громоотвода выступал молодой адвокат Максимилиан Робеспьер и это громкое дело положило начало его известности. Любопытно также, что одним из экспертов со стороны истца выступал Марат, который считал громоотвод опасной затеей и был против его установки. После долгой борьбы и апелляций де Виссери выиграл процесс.

Интересна тактика Франклина во всей этой борьбе за громоотвод. Он обычно не выступал публично, но путем бесед и путем своей громадной переписки он непрерывно воздействовал на ведущих ученых и общественных деятелей. Такой пропагандой он создавал себе мощную армию из передовых людей того времени, которая боролась за проведение в жизнь его детища — громоотвода.

В Англии борьба против громоотвода приобрела резко политический характер. Английский ученый Вильсон пытался доказать, что избежать вредного действия громоотвода можно, если его конец сделать тупым и этим помешать стеканию заряда. Так как время этого спора совпало с эпохой освобождения Америки от колониального положения и Франклин стал крупной политической фигурой молодой Америки и одним из активнейших борцов за свободу, то всякий гражданин Англии, снабжавший свой громоотвод острием, а не тупым концом, считался политически неблагонадежным.

Король Англии Георг III требовал от Королевского общества, английской академии наук, чтобы оно отказалось от своего решения в пользу острия на франклиновском громоотводе. На это требование короля президент Королевского общества сэр Джон Прингль, лейб-медик короля и личный друг Франклина, дал следующий известный ответ: «И по своему долгу, и по своим склонностям и по мере сил всегда буду исполнять желания его величества, но я не в состоянии ни изменить законов природы, ни изменить действия их сил». За эти слова его уволили с должности королевского врача и сняли с президентства Королевского общества.

В процессе борьбы по вопросу о громоотводе были использованы все методы, клевета, инсинуации и лично

359
против Франклина, и против его друзей. Франклин сохранял большое спокойствие, не обращая внимания на личные выпады, и неизменно говорил, что в вопросах науки правда выявляется только опытом.

Действительно, опыт и решил этот спор, но много десятков лет спустя, когда учение о грозовых разрядах и об электрическом поле достигло современного уровня. Теперь мы знаем, что весь этот спор не имел никакого основания, так как для обычного громоотвода не имеет значения, чем он завершается, острием или тупым концом. На небольшом расстоянии от земли геометрическая форма конца громоотвода не может заметно влиять на распределение электрического поля над землей.

Но один из ведущих специалистов по грозовым разрядам доктор Шонланд указывает, что все же процесс нейтрализации заряда облака путем тихого разряда, предсказанный Франклином, возможно осуществить, но только тогда, когда острие громоотвода находится на таком большом расстоянии от земли, что оно сравнимо с высотой тучи. Это имеет место для громоотводов, помещенных на самых высоких американских небоскребах, тогда действительно удастся наблюдать с острия стержня тихий разряд, не переходящий в молнию. Шонланд добавляет, что это, несомненно, дало бы Франклину чувство справедливого удовлетворения, если бы он мог это знать.

Сейчас громоотвод — неотъемлемая часть всех наших сооружений, и, конечно, невозможно подсчитать то количество зданий, сооружений, кораблей, которые он уберег от разрушения или предохранит от пожара. Заслуга эта справедливо приписывается инициативе Франклина.

Только кратко скажу о деятельности Франклина в других областях науки, так как, кроме описанных знаменитых достижений, у него есть еще достижения и в других областях.

Франклин занимался геофизикой, дал карту течения Гольфстрима, изобрел музыкальный инструмент с трущимися стеклянными шарами, экономичную печку, до сих пор распространенную в Америке и Франции, уличные фонари, двойные очки для старческой дальновзоркости и многое другое. Кроме того, благодаря своему общительному характеру и живому уму Франклин много консультировал и способствовал развитию науки.

Конечно, сведения о большинстве этих консультаций канули в вечность, но некоторые дошли до нас. Так, например, Людовик XVI просил Франклина быть членом комиссии по вопросу о ценности способа лечения, предложенного доктором Месмером, который использовал так называемый «животный магнетизм». Интересно, что в той же комиссии участвовал небезызвестный доктор Гильотен, изобретатель гильотины. Франклин отрицал существование животного магнетизма, но считал, что это не вредный способ лечения, так как он развлекает состоятельных людей, не принося им вреда, что не всегда можно сказать о других необоснованных лекарственных методах лечения.

Очень одобрительно Франклин отнесся к полетам братьев Монгольфье.

Нужно также отметить и ту область деятельности Франклина, которая была связана с теми возможностями для развития мировой науки, которыми Франклин располагал как крупный государственный деятель того времени. Франклин считал, что научные достижения есть достояние всего человечества и забота о развитии мировой науки должна стоять вне политических и военных противоречий между народами. Так, во времена войны с Англией, когда знаменитый исследователь капитан Кук возвращался из своего плавания, Франклин дал указания всем американским кораблям и корсарам отнестись с уважением к капитану Куку, где бы они его ни встретили во время его путешествия. Для наших дней также представляет интерес, что Франклин, заседав в конгрессе, убедил не распространять на научное оборудование эмбарго, наложенное на все товары английского происхождения.

Изучая биографию Франклина, все больше и больше понимаешь, почему существует всеобщее уважение и преклонение перед этим большим человеком, которого народ Америки дал человечеству.

В эпоху быстрого роста естественных наук каждая страна дала своего великого родоначальника науки — нас это был Ломоносов, в Англии — Ньютон, в Италии — Галилей, в Голландии — Гюйгенс, во Франции — Декарт, в Германии — Лейбниц, в Америке — Франклин. Достижения этих больших ученых являются гордостью всего человечества.

И мы, советские люди, благодарны американскому народу, давшему и воспитавшему для человечества великого Франклина.

ФИЗИК И ОБЩЕСТВЕННЫЙ ДЕЯТЕЛЬ ПОЛЬ ЛАНЖЕВЕН

Доклад на торжественном заседании, посвященном 85-летию со дня рождения П. Ланжевена

1957

Поль Ланжевен — не только выдающийся физик, но и крупный прогрессивный общественный деятель и большой друг Советского Союза. В 1924 г. он был избран членом-корреспондентом Академии наук СССР, а в 1929 г. его выбрали почетным членом Академии наук СССР. Он также был членом различных академий и научных обществ в ряде стран; так, в 1928 г. он был выбран иностранным членом Королевского общества Англии, в 1934 г. — в Парижскую академию наук. Этот почет он заслужил как физик, выполнивший исключительно важные научные работы.

Основные его труды относятся к теоретической физике, и наиболее крупные из них — это магнетизм, где его работы до сих пор имеют значение и считаются классическими, и акустика. Ланжевен нашел метод и осуществил возбуждение ультразвуковых волн и впервые предложил использовать для этого пьезокварц. Сейчас на этой основе выросла целая область науки и техники.

Надо сказать, что влияние Поля Ланжевена на развитие мировой физики было очень велико и не ограничивалось этими двумя областями. Ланжевен был еще большим учителем, у него было много учеников, из которых двое получили мировое признание, один из них Луи де Бройль, другой Фредерик Жолио-Кюри.

Хотя Ланжевен и публиковал сравнительно мало работ, но он был очень щедрым учителем, давал идеи, вдохновлял и поддерживал своих учеников. В этом отношении его влияние на французскую физику, если бы это можно было учесть, а этого, к сожалению, сделать нельзя, наверное, не меньше, а даже больше, чем влияние работ, которые он напечатал,

Я довольно часто встречался с Ланжевеном, и мне посчастливилось снискать его дружбу, и сейчас я вспоминаю о нем с исключительно теплым чувством.

Охарактеризовать облик Ланжевена, я думаю, можно одним словом: он был человеком, во всем служившим прогрессу, он был прогрессивным в науке, прогрессивным в своих политических взглядах, прогрессивным в своих философских взглядах и прогрессивным в своей общественной деятельности. Эта прогрессивность проходит красной нитью через всю его жизнь. Культура человечества растет, наука движется вперед, развивается социальный строй, углубляются наши философские представления о взаимоотношении человека с материальным миром. Хотим мы или не хотим, но все идет вперед. Люди делятся на три категории. Одни идут впереди и тратят все силы, чтобы двигать науку, культуру и человечество вперед,— это прогрессивные люди. Другие, и их большинство, идут рядом с прогрессом, сбоку, они не мешают и не помогают; и наконец, есть люди, которые стоят позади и придерживают культуру,— это консервативные люди, трусливые и без воображения.

Тем, которые идут впереди, приходится тяжелее всего, они пробивают новые пути для прогресса, на них сыплются всевозможные испытания судьбы. Таким был Поль Ланжевен, и судьба послала ему ряд тяжелых испытаний. Спрашивается, почему есть такие люди, которые выбирают этот путь, что заставляет их идти впереди, когда приятнее и спокойнее идти сбоку, даже если не тащиться сзади?

Мне лично думается, что есть две причины. Умный человек не может не быть прогрессивным. Быть прогрессивным, понимать новое и к чему оно ведет, может только умный человек, наделенный смелостью и воображением. Но этого недостаточно. Надо еще иметь темперамент борца. Когда ум соединяется с темпераментом, человек поистине становится прогрессивным. Таким был Поль Ланжевен. Чаще всего в жизни мы наблюдаем, что только в молодости у человека наиболее ярко проявляется темперамент, который делает его прогрессивным, под старость человек хочет спокойно жить, поэтому молодежь, в особенности в студенческие годы, является наиболее прогрессивной частью человечества. С Ланжевенем этого не случилось. Он был борцом за прогресс до конца жизни, и чем он становился старше,

363

тем более рьяно он боролся за прогресс. Вот эта необычайная черта в нем меня всегда поражала и вызывала глубокую симпатию и уважение.

Сейчас я хочу кратко рассмотреть его научную деятельность с точки зрения прогрессивности.

Первые его работы относятся к магнетизму, они были сделаны в 1907 г. Эти работы заключаются в том, что они впервые приложили развитую и обобщенную в это время Людвигом Больцманом статистическую механику к законам пара- и диамагнетизма, которые незадолго до этого были открыты Пьером Кюри, учителем и другом Ланжевена.

Теперь мы рассматриваем это как само собой разумеющееся, но если мы восстановим обстановку физики того времени, то увидим, что эти работы по своему существу были исключительно прогрессивными. В те годы идеи Больцмана входили в жизнь с большим трудом. Больцман в 1906 г. покончил с собой именно потому, что основная и смелая идея, которую он положил в основу своих работ по кинетической теории вещества,— связь энтропии с вероятностью осуществления молекулярных состояний, не была принята и признана. Ведущие ученые того времени, как, например, Оствальд, не хотели признавать вообще атомистическую теорию, и вокруг работ Больцмана бушевала буря. Ланжевен к первым своим работам по магнетизму подошел именно с точки зрения новых больцмановских взглядов.

Почти в то же время появляется работа Эйнштейна о теории относительности. Она была опубликована в 1905 г. С тех пор прошло уже 50 лет, и теперь только самые заскорузлые консерваторы возражают против основных идей теории относительности. Но когда она появилась, то, конечно, был поток возражений, и самые большие возражения были, конечно, против того закона, который первый раз формулировался совершенно четко и количественно,— об эквивалентности массы и энергии. Эта эквивалентность определяется законом, по которому масса вещества, помноженная на квадрат скорости света, может быть превращенной в эквивалентное количество энергии. Ряд ученых в этом видели нарушение закона сохранения энергии и закона сохранения материи — основ тогдашней физики, и это вызывало бурю возражений.

364

Ланжевен одним из первых с большой энергией пропагандирует во Франции идеи Эйнштейна. Он печатает почти одновременно с открытием закона Эйнштейна работу, в которой указывает, что отклонение значений масс атомов в периодической системе от величин, кратных массе атома водорода, возможно, связано с тем, что

в сложных атомах появляется избыток энергии, который увеличивает их атомный вес. Теперь мы знаем, что это правильное предсказание, которое мог сделать только большой ученый, и оно неоднократно было потом проверено экспериментально. Теперь эти взгляды имеют точное теоретическое обоснование. Это еще раз показывает, как Ланжевен воспринимал новые идеи в науке и как проводил их в жизнь.

Конечно, теперь мы имеем атомную бомбу, которая продемонстрировала всему человечеству, какой силы достигает взрыв, когда вещество переходит в энергию. Простые подсчеты показывают, что при этом в атомной бомбе только один грамм вещества превращается в энергию, в водородной бомбе — не больше килограмма. О возможности такого колоссального эффекта при переходе вещества в энергию не раз говорили Эйнштейн, Ланжевен и другие передовые физики, но было немало и таких, которые не верили в это. Более яркую демонстрацию закона Эйнштейна, чем взрывы бомб в Хиросиме и Нагасаки, трудно придумать. И несмотря на это, к нам в редакцию «Журнала экспериментальной и теоретической физики» и по сей день поступают статьи с попытками опровергнуть справедливость теории относительности.

В наши дни такие статьи даже не рассматриваются как явно антинаучные. Это второй пример того, как Ланжевен 50 лет тому назад пошел передовым и правильным путем в физике.

Третий случай, характеризующий его прогрессивность в современной физике, я наблюдал лично. В 1924г. я приехал в Париж к Ланжевену. Тогда он был профессором в Коллеж де Франс. Когда я пришел к нему, то он сразу мне сказал: мой ученик де Бройль сделал замечательную работу, я хочу, чтобы он вам о ней рассказал. Он позвал де Бройля и попросил его в моем присутствии рассказать о волновой природе электронов; как известно, теперь эта работа стала классической. Тогда я видел, как Ланжевен был увлечен этой работой. Вполне возможно, что, не имея поддержки Ланжевена,

365

де Бройль не отнесся бы к своей замечательной идее с такой смелостью, которая была нужна, чтобы ее развивать и проводить в жизнь.

То, что в то время эта идея вызывала большой скептицизм, можно проиллюстрировать следующим примером. Когда из Парижа я вернулся в Кембридж, я рассказал о работе де Бройля местным теоретикам. Поль Дирак тогда еще был студентом; он слушал у меня тот небольшой курс по магнетизму, который я тогда читал; он сидел на первой парте, и я не предполагал тогда, что из него выйдет крупный ученый, который найдет наиболее общие математические выражения идеям де Бройля. Главным теоретиком в Кембридже тогда был Фаулер. Ни он, ни его товарищи не хотели признать взглядов де Бройля и принимать их всерьез. И когда я предложил поставить доклад на эту тему на семинаре, то мне сказали: «Мы тратить время на это не будем». Уже через год или два, когда Шредингер сделал работу, в которой математически обобщил идеи де Бройля, и когда появилось ставшее теперь классическим уравнение Шредингера, в котором он показал, что то, что сделал де Бройль, есть не что иное, как собственное значение функций в известных уравнениях, то всем стало ясно фундаментальное значение работ де Бройля.

Очень поучительна история, как Шредингер создал свои уравнения. Шредингер тогда работал у Дебая, который и рассказал мне подробности, как Шредингер пришел к своим уравнениям. Прочтя работу де Бройля в «Comptes Rendus», Дебай предложил Шредингеру рассказать о ней на семинаре. Шредингер на это ответил примерно так: «О такой чепухе я не хочу рассказывать». Но Дебай, как старший руководитель, сказал, что все же ему надо это сделать. Тогда Шредингеру пришлось согласиться, и он решил попытаться представить на семинаре идеи де Бройля в более удобопонимаемом математическом виде. Когда ему удалось это сделать, то он и пришел к тем уравнениям, которыми он прославился на весь мир и которые носят теперь его имя.

Дебай мне рассказал, что, когда Шредингер излагал свою работу на семинаре, он сам не понимал, какое крупное открытие он сделал. Дебай тут же на семинаре сказал ему: «Вы сделали замечательную работу», Сам

366

же Шредингер думал, что он только нашел хороший способ рассказать группе физиков о том, что сделал де Бройль. И это произошло через два года после того, как появилась работа де Бройля. Ланжевен сразу, с самого начала, раньше всех понял, что в идеях де Бройля заложена новая физика. Этот пример еще раз показывает его удивительное чутье ко всему прогрессивному. Меня всегда поражало в разговоре с Ланжевенем, как он умел широко видеть, что происходит в науке; можно было прямо преклоняться перед его прозорливостью.

В области общественной деятельности Ланжевен был так же прогрессивен, как и в физике. Он часто говорил с гордостью: «Я родился на Монмартре». Как известно, это самая пролетарская часть Парижа. Дед Ланжевена был простым слесарем, отец — землемером. Сам Ланжевен родился в 1872 г. в довольно бедных условиях, прошёл городскую школу, потом путем стипендий получил высшее образование. Это был человек широко одаренный, учился он, конечно, блестяще. Потом он сделался учеником Пьера Кюри. Пьер Кюри направил его в Кавендишскую лабораторию, где Ланжевен работал в одной комнате с Резерфордом. В те годы Кембридж был уже центром физики. Директором Кавендишской лаборатории был тогда Дж. Дж. Томсон, который прославился тем, что открыл электрон, и созданная им область исследования прохождения электричества через газы была в те годы ведущей, такой, какой, например, в последнее время является [ядерная физика](#).

В Кембридже Ланжевен сделал свою первую экспериментальную работу, и там началась его научная карьера. После этого в продолжение многих лет Ланжевен сохранил большую дружбу с английскими учеными, в особенности с Резерфордом. Ланжевен был обаятельным человеком, всегда располагающим к себе людей любого класса, и у него всюду были друзья. Вернувшись в Париж, Ланжевен стал работать в Коллеж де Франс, где после своего учителя Пьера Кюри он занял место профессора. С первых же работ по магнетизму он стал одним из ведущих физиков во Франции.

367

Свою политическую деятельность он также начал очень рано, он начал ее примерно со студенческой скамьи. Начало его политической деятельности связано со знаменитым делом Дрейфуса — этим позорным судебным процессом, затеянным группой антисемитов, которых можно охарактеризовать как предшественников фашизма. Тогда за Дрейфуса заступился Эмиль Золя, написавший свою знаменитую книгу «J'accuse» — «Я обвиняю».

Когда Золя подвергался преследованию, Ланжевен выступил в его защиту. Это было его первое общественное выступление. Он часто, вспоминая об этом выступлении, говорил: «Да, это были хорошие времена, когда, представьте себе, судьбой одного человека можно было заинтересовать весь земной шар». После этого у него был целый ряд других политических выступлений, их перечень говорит сам за себя.

Ланжевен выступил в 1920 г. в Париже на митинге в зале Ваграм с яркой речью в защиту моряков черноморской эскадры, отказавшихся сражаться против молодой Советской республики. Ланжевен с такой же чуткостью, как и в науке, предвидел прогрессивное значение нашей социальной революции и сразу открыто стал на ее поддержку.

В том же году, когда он был профессором высшего учебного заведения, он выступил против использования студентов в качестве штрейкбрехеров во время забастовки транспортников в Париже.

Вместе с Роменом Ролланом и Анри Барбюсом он неуклонно выступал против фашизма.

Он выступал в защиту Димитрова во время Лейпцигского процесса.

Он был одним из самых активных защитников Эрнста Тельмана. Он был председателем Ligue des droits de l'homme (Лиги прав человека). Он не только возглавлял ее, но был одним из ее организаторов.

Он неоднократно выступал в защиту Испанской республики. В этом перечне повторяется одно слово: выступал, выступал, но за этим словом кроется большая общественная деятельность и большая организационная работа.

Ланжевен выступал с ярким осуждением Мюнхенского пакта, выступил против ареста 27 депутатов-коммунистов в начале войны.

368

Когда началась война, то мне была предоставлена возможность написать Ланжевену и предложить ему на время войны приехать в Советский Союз. Зная ту ненависть, которую питали к нему фашисты, было страшно за его судьбу во Франции, и, конечно, нужно было предоставить ему возможность уехать в страну, где он был бы в безопасности и мог бы продолжать борьбу за Францию. В письме он мне ответил, что с удовольствием придет в СССР, но сейчас ему надо еще закончить одно дело: тогда в Парижском университете началось антисемитское движение, и Ланжевен возглавил борьбу с ним, и пока это движение не будет ликвидировано, он не чувствует себя вправе покинуть Париж.

Когда Ланжевен решил, что может покинуть Париж, то уже было поздно, гитлеровское правительство отказалось пропустить его через Германию. Париж был занят немецкими войсками. Ланжевен был сразу арестован.

Два месяца он сидел в тюрьме, потом его отправили в небольшой город, где он занял место преподавателя физики в средней женской школе и занимал этот пост первую половину войны.

Семья Ланжевена была прогрессивной, и все они были борцами с фашизмом. Дочь Ланжевена была арестована и отправлена в Освенцим, где пробыла всю войну. Муж дочери, Соломон, известный коммунист, был арестован и расстрелян немцами. Ланжевену пришлось покинуть Францию. Это была нелегкая задача — ведь ему было уже под 70 лет. Он бежал через горы в Швейцарию. Была инсценирована автомобильная катастрофа, его забинтовали и как раненого на руках перенесли через горы. Всю вторую половину войны он пробыл в Швейцарии, где он по мере своих сил продолжал принимать участие в освободительном движении. Когда он узнал о смерти, о расстреле своего зятя Соломона, он написал Дюкло письмо, в котором просил зачислить его в коммунистическую партию на то место, которое занимал Соломон. Таким образом, с 1942 г. до своей смерти 19 декабря 1946 г. он был одним из активных членов коммунистической партии.

Этот краткий перечень фактов, мне думается, дает достаточно яркую картину общественной и политической деятельности Ланжевена. И из этого перечня видно, что не было ни одного крупного прогрессивного события в Европе и во Франции, в котором Ланжевен не

369

принял бы активного участия. Но были и другие области общественной жизни, где выступал Ланжевен, например, его живейшее участие в вопросах народного образования. Помню, однажды, будучи в Париже, я сказал Ланжевену, что мне придется поехать в Страсбург, прочитать лекцию в Страсбургском университете. Ланжевен ответил: «Очень хорошо, поедете вместе, я тоже собираюсь в Страсбург, я должен там прочесть лекцию о преподавании французского языка в Эльзасе». Я был на его лекции, так же как он пришел на мою, и слышал, как интересно он разбирал вопрос о преподавании французского языка в Эльзасе. Это была нелегкая задача, поскольку с ним был связан сложный политический вопрос, потому что симпатии населения разделялись между Францией и Германией. Выступать Ланжевену приходилось с большим тактом. Слушая его, я видел, как исключительно искусно он построил свой доклад.

Такова картина его деятельности. Человек, который занимался такой прогрессивной деятельностью как в науке, так и в области социальной жизни, не мог не быть привлекательным, в особенности для молодежи.

Ланжевен был на 20 лет старше меня, но, несмотря на эту разницу в возрастах, общаться с ним было очень легко и просто. Он был исключительно обаятельный человек и пользовался большой любовью в самых широких массах Франции. Его любили, по-моему, все. Я не знаю человека, который к нему хорошо не относился бы. Даже люди противоположных политических взглядов хорошо к нему относились. Мягкость, исключительная доброта и отзывчивость побеждали и покоряли всех. С любым человеком, будь это премьер-министр или студент, он разговаривал совершенно одинаково, и оба чувствовали себя легко и просто.

В качестве примера отношения к нему различных людей я приведу ту телеграмму, которую прислал Эйнштейн после смерти Ланжевена в Парижскую академию. Эта телеграмма очень короткая, я выбрал ее не потому, что она написана Эйнштейном, а потому, что она, по-моему, исключительно хорошо и коротко выражает в действительности, кто такой был Ланжевен: «Известив о смерти Поля Ланжевена потрясло меня

370

сильнее, чем многие случившиеся за эти годы разочарования и трагедии. Как мало бывает людей одного поколения, соединивших в себе ясное понимание сущности вещей с острым чувством истинно гуманных требований и умением энергично действовать! Когда такой человек покидает нас, мы ощущаем пустоту, которая кажется невыносимой для тех, кто остается!»

В заключение мне хотелось бы сказать об одной маленькой черте его характера, которая придает еще более обаяния и человечности его характеру. У Ланжевена была одна слабость: он любил вино. Любил он вино не в вульгарном смысле, но он любил аромат вина, он любил вино как дегустатор. Он говорил: «Вино не пьют, о нем говорят!» Он брал бокал вина, держал его в руке, вдыхал его запах и говорил, что это бургундское такого-то года, такой-то марки, тогда был такой-то урожай винограда и он отличается такими-то свойствами. Он мог целую поэму рассказать о бокале вина. Он гордился своим знанием вина. Это было его, как говорят англичане, *hobby*.

Как-то в Цюрихе во время одной конференции я сидел вместе с ним в ресторане за одним столом. Каждый раз он очень тщательно выбирал наиболее редкое вино и тут же читал мне лекцию об этом вине. Его знания о вине

были не любительские. Французские виноделы после сбора винограда приглашали его к себе, чтобы он оценил, какое через несколько лет выйдет из него вино. Он ездил к ним и очень гордился тем, что с его мнением считаются бургундские виноделы. Но больше всего он гордился тем, что однажды в долине реки Вар, на юге Франции, когда он дегустировал вина, он «открыл» новое прекрасное вино. Так из плебейского красного вина, по его оценке, было сделано марочное вино.

И тому, что он открыл новый сорт марочного вина, он искренне радовался и этим очень гордился. Не теория магнетизма, которая была его величайшей победой,— о ней он не рассказывал, а о вине новой марки, открытом им в долине Вар, он рассказывал с большой страстью.

Вот краткий очерк деятельности и облика этого замечательного прогрессивного человека. Я считаю большим счастьем для себя, что мне пришлось знать и любить этого замечательного человека и общаться с ним.

371

АЛЬБЕРТ ЭЙНШТЕЙН

Вступительное слово на торжественном заседании, посвященном 100-летию со дня рождения А. Эйнштейна
1979

Отмечать в международном масштабе юбилейные даты крупнейших деятелей культуры, науки и искусства является важным культурным мероприятием Организации Объединенных Наций. Заключаются эти мероприятия в организации семинаров, конгрессов, в издании монографий, посвященных трудам юбиляра, имеющим интернациональное значение. Международная интеллигенция с большим сочувствием относится к этой деятельности, и в ряде стран такие юбилеи уже часто отмечались.

При организации юбилеев возникают трудности в отборе достойных деятелей культуры. Но есть люди, как, например, Галилей, Ньютон, Дарвин, Пастер, Павлов, Микеланджело, вклад которых в мировую культуру настолько велик, что выбор не вызывает сомнения. К этой плеяде относится и Альберт Эйнштейн.

Фигура Эйнштейна как ученого весьма своеобразна. Хотя его работы в основном относятся к области физики, они еще захватывают и ту область, которая прежде называлась «Natural Philosophy».

С молодости и до конца дней его научное творчество было творчеством ученого мыслителя-одиночки. Каждая его крупная работа являлась логическим решением задачи, неизменно связанной с актуальной проблемой, которая обычно захватывала в широком масштабе астрономию, космогонию, статистическую механику, квантовую электродинамику. Сила его мышления зиждилась на острых оригинальных логических построениях, при этом математический аппарат, которым он пользовался, был прост и нагляден.

Уже в 17-летнем возрасте у Эйнштейна возник интерес к познанию природы мирового пространства и не ослабевал до конца его жизни. Его работа по теории относительности, пройдя тернистый путь, получила исключительную известность.

372

По окончании в 1900 г. инженерного факультета Цюрихского политехнического института он для заработка поступил работать в патентное бюро в Берне, поскольку не любил педагогической деятельности. Здесь он проверял патентные заявки. Параллельно вел научную работу, главным образом в области физики.

Среди его работ были и работы по теории относительности, которые возникли из интенсивно развивавшегося тогда учения об электромагнитном поле, опиравшегося на уравнения Максвелла. Эти исследования вели такие крупные ученые, как Лоренц, Пуанкаре, Минковский и др. Одно из основных противоречий, которое тут возникало, можно описать следующим простым путем.

Распространение электромагнитных волн до работ Эйнштейна было принято считать происходящим в мировом эфире. При этом, конечно, возникал естественный вопрос: по отношению к чему мировой эфир находится в покое? Если бы этот вопрос можно было решить экспериментально, то открылась бы возможность найти абсолютную скорость движения в мировом пространстве. Опытные исследования приводили к противоречию. С одной стороны, согласно опытам Физо, мировой эфир движется по отношению к наблюдателю. Знаменитые опыты Майкельсона и Морли приводят к обратным результатам. Это противоречие Эйнштейн решил простым логическим путем. Если мировой эфир одновременно движется и находится в покое, то он, как материальная среда, в природе не существует, поэтому электромагнитные процессы просто являются свойствами пространства и определяются относительным движением объектов.

Хотя такой подход и внес существенно новое в понимание электромагнитных процессов, как, например, зависимость массы от скорости, новая интерпретация понятия времени учеными воспринималась с большим трудом. Эта созданная Эйнштейном теория получила название «теории относительности».

Его еще более крупные работы относились к так называемой «общей теории относительности». Эта теория вытекает из закона тяготения, открытого Галилеем, который показал, что все тела падают с одинаковым ускорением. Этот закон более точно был проверен Ньютоном, который показал, что ряд маятников, сделанных из различных материалов, но одинаковой длины, подвешенных в дверном проеме, колеблются синхронно, Теперь,
373

при современной технике, этот закон проверен с колоссальной точностью, Эйнштейн стал рассматривать эту закономерность как основное свойство мирового пространства, на котором он основал вывод уравнения, определяющего движение материи в мировом пространстве. Таким путем он находит ряд закономерностей фундаментального значения, как, например, искривление луча света в поле тяготения, закон эквивалентности массы и энергии.

Интересно, что найденное Эйнштейном решение его основного уравнения, как показал наш математик А. А. Фридман, оказалось некорректным. На самом деле равновесное состояние такого пространства не может быть статичным и осуществимо только при его однородном расширении или сжатии. Эйнштейн сперва отвергал решение Фридмана. Но, характерно, когда он увидел, что решение Фридмана является правильным, то сразу же опубликовал заметку с извинением. Через несколько лет после этого американский астроном Хаббл опытным путем действительно обнаружил, что во Вселенной непрерывно происходит однородное расширение.

Обе теории относительности Эйнштейна играют сейчас фундаментальную роль не только в физике, но и в философском понимании мировых процессов, поэтому интерес к этим работам захватывает все более и более широкие круги.

Но, кроме работ по теории относительности, у Эйнштейна есть ряд работ в области квантовой физики. К ним следует отнести работу по индуцированному излучению, она лежит в основе принципа современного лазера. Работы по теплоемкости тел, по броуновскому движению... Каждая из этих работ в отдельности дала бы ученому крупное имя.

Из всех работ Эйнштейна мне больше всего импонирует работа по фотоэффекту. Еще в прошлом веке московский физик А. Г. Столетов открыл явление фотоэффекта, заключающего в себе противоречие, на которое сперва мало обращали внимания. Оно выражается в том, что если на поверхность пластинки падает свет, то, как бы слаб он ни был, из отдельных точек на поверхности будут вылетать электроны значительной и определенной энергии. Спрашивается: как энергия собирается в одну точку со значительной поверхности пластинки?

При этом оказывается, что энергия вылетающего элект-
374

рона численно равна частоте падающего света, помноженной на квантовую постоянную, открытую Планком. Эта закономерность, найденная Эйнштейном, устанавливает чрезвычайно простую связь энергии вылета электрона с постоянной Планка и является теперь основным законом при изучении квантовых процессов. За это открытие Эйнштейн получил Нобелевскую премию.

В науке мы неизменно наблюдаем: чем фундаментальнее открытая закономерность, тем короче ее можно сформулировать. Так, например, для формулировки основного закона механики для равновесия инерционных сил с обычными Ньютоном понадобилось четыре буквы. Для описания квантовой закономерности фотоэффекта Эйнштейну нужны были только три буквы.

Но, как ни проста формулировка квантового закона Эйнштейна, описать детально лежащий в его основе механизм не представляется возможным. Эта трудность аналогична той, которая возникает при квантовой интерпретации интерференционных явлений, происходящих при слабом свете. Поиски этого механизма занимали последние годы жизни Эйнштейна. Хорошо известен спор Эйнштейна с Бором по этому вопросу. Современная физика считает, что найти такой механизм невозможно, так как для этого надо было бы производить измерения с точностью, которая лежит за пределами границы, установленной принципом неопределенности, сформулированным Гейзенбергом. Эйнштейн изобретал эксперименты, которыми, казалось, можно было бы преодолеть барьер, созданный принципом неопределенности. Со своей стороны, Бор

неизменно находил ошибки в построении Эйнштейна. Несмотря на острые споры, отношения Бора и Эйнштейна были неизменно дружественными.

Следует отметить, что не все ученые обладают тем, что называется «легким характером». Ньютон был очень резкий человек, и некоторые его выражения даже не воспроизводятся в печати. Личные качества Эйнштейна глубоко привлекательны, у него были широкие прогрессивные взгляды, он был неизменным борцом за мир и разоружение. Легко общался с людьми, Эйнштейн любил музыку и с детства играл на скрипке. Он был очень Добрым и отзывчивым. Очень прост в обращении и лишен и тени малейшего самомнения. Я вспоминаю такой случай, В 30-х годах в Кавендишской лаборатории я

375

осуществил метод получения магнитных полей по силе на порядок выше, чем до сих пор это было достигнуто. В одной беседе Эйнштейн пытался меня убедить экспериментально изучать влияние магнитного поля на скорость распространения света. Эти опыты уже делались, никакого эффекта не было обнаружено. В моих магнитных полях можно было бы поднять предел точности измерения порядка на два, поскольку эффект должен был бы зависеть от квадрата интенсивности магнитного поля. Я возражал Эйнштейну, что, согласно существующей картине электромагнитных явлений, не видно, откуда можно было бы ждать такого измеримого явления. Не находя возможности обосновать необходимость таких опытов, Эйнштейн, наконец, сказал: «Я думаю, что дорогой господь бог (der liebe Gott) не мог так создать мир, чтобы магнитное поле не влияло на скорость света». Конечно, это аргумент, с которым трудно спорить. Эйнштейн был веселого темперамента, любил юмор, ценил остроумие. Эренфест мне рассказывал, что, читая присланную ему из Берлинского университета философскую диссертацию, при защите которой он должен был быть оппонентом, он сказал Эренфесту: «Я себя чувствую так, будто мне надо что-то проглотить, не имея ничего во рту».

Мало в истории науки крупных ученых такой привлекательной природы, каким был Эйнштейн.

ПАМЯТИ ИВАНА ПЕТРОВИЧА ПАВЛОВА

Статья в газете «Правда» 1936

Большой ученый — еще не всегда значит большой человек. Свидетельства современников говорят нам о том, что нередко люди, одаренные гениальным умом, производящие переворот в науке, бывают наделены обывательским духом. Гениальных ученых мало, но еще реже гениальный ученый совмещается с большим человеком. Иван Петрович Павлов принадлежал к этим редким исключениям. В этом огромное обаяние его личности, дающее право говорить о нем не только физиологам, но и всем тем, кто его знал,

376

Слава Павлова как основателя целой новой области физиологии исключительна. Нам, физикам, трудно оценить всю глубину и тонкость его работ, но в них есть одна сторона, которая роднит наши отрасли знания. В нашей науке мы культивируем количественные и точные методы измерений, рассматривая их как одно из важнейших средств проникновения в сущность изучаемых явлений. Многие области физиологии не знают еще методов точного измерения, и казалось бы, что область изучения высшей нервной деятельности представляет собой наиболее сложное и трудное поле для их внедрения. Между тем именно Павловым были найдены объективные и количественные методы измерения и оценки психических явлений, и это одно из его громадных научных завоеваний.

Увлекательнейшие доклады и работы И. П. Павлова доступны не только специалистам-физиологам; не один из нас ловил себя на том, что проверял правильность его обобщений и выводов в области рефлексологии даже на самом себе. Эта высокая научная жизненность работы И. П. Павлова пробуждала интерес к его трудам у самых широких кругов ученых. И. П. Павлов был знаменит не только в своей стране, он был широко известен и за границей, но особенно хорошо его знала интеллектуальная Англия. Это было связано также и с тем, что школа физиологов в Англии была всегда исключительно сильна и сумела оценить его очень давно. Работая в Англии, я мог непосредственно ощущать ту атмосферу уважения, которой там было окружено имя И. П. Павлова.

В этой стране, где он часто бывал и народ которой ему нравился, его встречали неизменно приветливо и прощали даже незнание английского языка. Высокая оценка его научных заслуг получила свое выражение также и в том, что ему были присвоены все существовавшие академические степени и звания. Он был членом почти всех научных обществ, обладателем всех медалей, доктором «гонорис кауза» всех крупных университетов. В Кембридже еще теперь рассказывают о торжественной церемонии получения им почетной

степени в университете. Университетские традиции не допускали присутствия в зале заседаний кембриджского «сената» студентов, и они заполнили верхние галереи. И вот оттуда кто-то спустил на веревочке

377

символическое и скромное студенческое подношение ученому — маленькое чучело экспериментальной собачки. Этот маленький подарок обрадовал И. П. Павлова как признак, что его работы становятся достоянием студенческих аудиторий. Инициатором этого подношения был внук Чарльза Дарвина, ставший впоследствии известным физиком, профессором Эдинбургского университета.

За многие годы своей научной деятельности И. П. Павлов не овладел языками и немножко изъяснялся только по-немецки. Тем не менее, его живая речь, предельно выразительная в своих интонациях и жестах, доходила до слушателей разных национальностей. Во всей его манере держаться и говорить проявлялась пылкая натура, яркая, независимая и сильная индивидуальность. Эта индивидуальность и вела Ивана Петровича во всем его научном пути. Может быть, в этом скрыто объяснение того, что крупнейшие работы этот великий ученый дал в возрасте около 40 лет; большинство ученых оформляют свои крупнейшие труды до этого возраста, и мне известен из деятелей науки только Фарадей, который начал цепь своих мировых открытий в том же возрасте, что и Павлов. Дело, видимо, в том, что сильные натуры предпочитают идти новыми путями вместо того, чтобы следовать спокойными проторенными дорожками. Возможно, многие годы ушли и у И. П. Павлова на то, чтобы пробить новую тропу в науке и превратить ее в широкий путь, по которому последуют другие.

Независимость и прямолинейность Ивана Петровича Павлова, конечно, были самым сильным оружием в арсенале его выдающегося ума и дали ему возможность сделать замечательные достижения в науке. Бережно сохраняя и оберегая эту свою независимость, он мог продолжать свою работу. Эта блестящая сила, смелость и прямота, с которыми И. П. Павлов отстаивал свои взгляды и убеждения, могут служить примером не только ученым.

Сильная личность чувствовалась с первых же слов беседы. И. П. Павлов не знал «легких», поверхностных тем, ему было органически чуждо флегматичное, небрежное или равнодушное отношение к окружающему. Во всем, начиная от сложнейших проблем его жизненного дела и кончая развлечениями на досуге, забавой,

378

игрой в «дурачка», сказывался его увлекающийся, страстный темперамент настоящего человека, не делающего ничего наполовину.

И. П. Павлова глубоко волновали многие вопросы жизни, помимо непосредственно вытекающих из его деятельности. Последнее время он говорил о своей мечте прожить еще по крайней мере лет десять, чтобы «знать судьбу своей науки об условных рефlekсах, своей родины и своей внучки». В беседах с ним открывалось столько силы, ясности ума, и казалось, что он совсем еще далек от смерти...

АЛЕКСАНДР АЛЕКСАНДРОВИЧ ФРИДМАН

Выступление на сессии

*Отделения физико-математических наук АН СССР,
посвященной 75-летию со дня рождения А. А. Фридмана*

1963

Александр Фридман — один из лучших наших ученых. Если бы не смерть от брюшного тифа в возрасте 37 лет, он и сейчас был бы с нами. Безусловно, он сделал бы еще многое в физике и математике и достиг бы высших академических званий. В молодом возрасте он был уже профессором, обладал мировой известностью среди специалистов по теории относительности и метеорологии. В 20-х годах, находясь в Ленинграде, я нередко слышал отзывы о Фридмане как о выдающемся ученом от профессоров Круткова, Фредерикса Бурсиана.

Фридман сделал одно из самых значительных теоретических открытий в астрономии — он предсказал расширение Вселенной.

Из решения Фридманом космологических уравнений Эйнштейна вытекала возможность изменения во времени радиуса кривизны нашего мира. Через несколько лет после опубликования работы Фридмана американский астроном Хаббл обнаружил разбегание галактик — следствие расширения Вселенной. Таким образом, Фридман «на кончике пера» открыл поразительное явление космического масштаба.

По этому поводу иногда говорят, что Фридман не очень-то верил в свою собственную теорию и относился

379

к ней лишь как к математическому курьезу. Он будто бы говорил, что его дело — решать уравнения, а разбираться в физическом смысле решений должны другие специалисты — физики.

Это ироническое высказывание о своих трудах остроумного человека не может изменить нашу высокую оценку его открытия. Даже если Фридман не был уверен в том, что расширение Вселенной, вытекающее из его математических выкладок, существует в природе, это никоим образом не умаляет его научной заслуги. Вспомним, например, теоретическое предсказание Дираком позитрона. Дирак тоже не верил в реальное существование позитрона и относился к своим расчетам как к чисто математическому достижению, удобному для описания некоторых процессов. Но позитрон был открыт, и Дирак, сам того не предполагая, оказался пророком. Никто не пытается преуменьшить его вклад в науку из-за того, что он сам не верил в свое пророчество.

Позже Дирак предсказал существование индивидуальных магнитных полюсов, которых не кашли, хотя одно время Ферми думал, что они могут реально существовать. Если когда-нибудь такие магнитные полюсы будут найдены, ученые воздадут должное Дираку за силу его теории.

Фридман не дождался подтверждения своих расчетов прямым наблюдением. Но мы теперь знаем, что он был прав. И мы обязаны дать справедливую оценку замечательному результату этого ученого.

Имя Фридмана до сих пор было в незаслуженном забвении. Это несправедливо, и это необходимо исправить. Мы должны увековечить это имя. Ведь Фридман — один из пионеров советской физики, ученый, внесший большой вклад в отечественную и мировую науку.

ЛЕВ ДАВИДОВИЧ ЛАНДАУ

Статья, написанная для сборника биографий членов Лондонского Королевского общества 1969

Лев Давидович Ландау родился 22 января 1908 г. в Баку, в те годы главном нефтедобывающем центре России.

Отец Ландау был инженером, он работал

380

в нефтяной промышленности, мать Ландау была врачом, она занималась также научной работой по физиологии. В семье было двое детей: кроме Льва — старшая дочь Софья, которая впоследствии стала инженером-химиком.

Семья жила в достатке, и Ландау начал свое образование в гимназии. Его исключительные способности проявились очень рано, и он закончил среднюю школу в 13 лет. Такой ранний возраст не позволил ему поступить в университет, так что родители направили его в техникум, где он год занимался экономическими науками. Математические способности Ландау выявились тоже очень рано, в 13 лет он уже умел интегрировать и дифференцировать.

В Бакинский университет он поступил в 1922 г., где сразу учился на двух факультетах — химическом и физическом, но здесь он проучился только два года и в 1924 г. поступил на физическое отделение в Ленинградский университет. Вместе с Московским университетом это было ведущее высшее учебное заведение в России. Уже в 1927 г. он окончил курс, и еще за год до окончания получил должность сверхштатного аспиранта. В 1926 г. им была опубликована его первая научная работа «К теории спектров двухатомных молекул». Эта работа, сделанная в 18-летнем возрасте, уже показала зрелого ученого, а содержание работы, сделанной в следующем, 1927 г., относилось к проблеме торможения в волновой механике. В этой работе впервые введено описание состояния систем с помощью матрицы плотности.

В эти годы страна еще продолжала переживать последствия тяжелых испытаний войны, закончившейся революцией 1917 г., и последствия еще более тяжелых лет интервенции и гражданской войны. Восстановление нормальной жизни только началось. Несмотря на тяжелое экономическое состояние и общую разруху, научная жизнь в стране стала быстро развиваться. Это имело место не только в университете, но впервые в России стали создаваться и научные исследовательские учреждения. Это развитие науки в основном происходило за счет молодых сил, воспитанных уже после революции. В то время в Ленинграде было только два крупных ученых-физика старшего поколения, которые оказывали большое влияние на ее развитие,—Д. С. Рож-

381

дественский и А. Ф. Иоффе. Оба они были экспериментаторами, Рождественский известен своей работой в области спектроскопии и оптики, Иоффе был учеником Рентгена и получил известность в области физики твердого тела.

В те времена в теоретической физике крупных ученых, способных создать свою школу, в России не было, но благодаря счастливой случайности перед войной в продолжение пяти лет в Петербурге жил и работал П. С. Эренфест. Он был по происхождению австрийцем и после Петербурга был приглашен в Лейденский университет, где занимал кафедру, освободившуюся после ухода в отставку Лоренца. Но за годы своего пребывания в России Эренфест оставил несколько способных учеников, уже тогда хорошо известных своими теоретическими работами, среди них В. Р. Бурсиан, Г. Г. Вейхард, Ю. А. Крутков, В. К. Фредерикс. В годы пребывания Ландау в Ленинградском университете эта молодежь вела преподавание теоретической физики. В отличие от теоретической физики, математика в университете была в руках таких крупных ученых, как В. А. Стеклов, А. А. Марков,— продолжателей школы Чебышева.

Таким образом, когда Ландау учился в университете, научные работы в области теоретической физики только начинали создаваться и физики-теоретики развивались без крупного руководителя, сами по себе, в процессе взаимного общения и сотрудничества на семинарах. Поэтому в эти годы у всех молодых ученых была большая потребность выехать за границу, чтобы участвовать в работе ведущих научных центров и общаться с крупными учеными на Западе. Для физика-теоретика это были в то время школы, созданные Бором в Копенгагене, Дебаем в Цюрихе, Зоммерфельдом в Мюнхене и Эренфестом в Лейдене.

Первый раз Ландау поехал за границу в 1929 г. и провел там полтора года. Эта поездка была исключительно благотворна для Ландау, но в особенности много для него дало его пребывание в Дании у Н. Бора. Большой талант Бора как учителя, его обаяние как человека и ученого покорили Ландау. Бор сразу же разгадал в Ландау не только талантливого ученого, но, несмотря на некоторую резкость и экстравагантность его поведения, и человека больших душевных качеств.

382

Ландау считал Бора своим единственным учителем в теоретической физике. Я думаю, что у Бора Ландау научился и тому, как следует учить и воспитывать молодежь. Пример Бора, несомненно, способствовал успеху крупной школы теоретической физики, которую впоследствии Ландау создал в Советском Союзе.

Искренняя и теплая дружба с Бором и со всей его семьей сохранилась у Ландау на всю жизнь. Он ездил в Копенгаген в 1933 и 1934 гг., он много времени проводил с Бором, когда тот посещал Советский Союз в 1934, 1937 и 1961 гг. Во время пребывания за границей Ландау сделал свою работу по диамагнетизму электронного газа и (совместно с Р. Пайерлсом) работу по релятивистской квантовой механике, получившую широкую известность.

В 1931 г. он вернулся в Ленинград, в Физико-технический институт, созданный Иоффе сразу после революции и бывший в то время основным крупным институтом физики в СССР. За 13 лет своего существования этот институт разросся, и от него стали отпочковываться по всему Союзу другие научные центры. Их уже было три: в Томске, в Свердловске и в Харькове, который в те годы был столицей Украины. Харьковский физико-технический институт был организован и руководился И. В. Обреимовым. Основной его тематикой была физика твердого тела и низких температур, В 1932 г. Ландау приезжает в Харьков, где он работает в Физико-техническом институте в продолжение 5 лет, Тут, в Харькове, развивается его научная и учебная деятельность. Под его руководством быстро разрастается теоретический отдел института. Он заведует кафедрой теоретической физики на физико-механическом факультете Механико-машиностроительного института и с 1935 г. — кафедрой общей физики в университете,

К годам пребывания в Харькове относится ряд основных работ Ландау: теория фазовых переходов второго рода, кинетическое уравнение при кулоновском взаимодействии частиц, теория промежуточного состояния в сверхпроводимости и ряд других работ, охватывающих широкий фронт теоретической физики. Эти работы Ландау и его учеников сделали в те годы Харьков центром теоретической физики СССР. Там собирались конференции, на которые приезжали зарубежные ученые,

383

В 1935 г. в Москве был создан Институт физических проблем для того, чтобы я продолжал в нем работы, начатые мною в Кембридже, и благодаря доброй воле Резерфорда я смог перевезти свое оборудование из

Мондовской лаборатории и после трехлетнего перерыва возобновить свою работу по сильным магнитным полям. После того, как в ИФП началась научная работа, сюда в 1937 г. из Харькова приехал Ландау, а через год — его ближайший ученик и друг, соавтор по курсу теоретической физики Е. М. Лифшиц.

В ИФП Ландау создал отдел теоретической физики и организовал общемосковские семинары по теоретической физике. В 1937 г. Ландау женился на К. Т. Дробанцевой, харьковчанке, по образованию инженер-пищевике. В ИФП Ландау неизменно работал до конца своих дней. Только в 1938 г. происходит годичный, перерыв в его работе. С 1941 по 1943 г. в связи с войной ИФП с основной своей группой сотрудников, в том числе и Ландау, был эвакуирован в Казань. После возвращения в Москву Ландау продолжал работать в ИФП, и на территории этого же института он жил до конца своей жизни. С 1943 г. он возобновил также и свою педагогическую деятельность — на физико-техническом и физическом факультетах Московского университета.

В 1946 г. у него родился сын Игорь, который теперь также работает в ИФП; он начинающий физик, но, в отличие от своего отца, он экспериментатор.

7 января 1962 г. Ландау стал жертвой автомобильной аварии. Легковую машину, в которой он ехал по обледенелой дороге, занесло, и она столкнулась с грузовиком. Из всех пассажиров серьезно пострадал только Ландау. У него был перелом основания черепа, ребер и тазовых костей. В продолжение 6 недель Ландау был без сознания, несколько раз врачи считали, что наступает смерть. В спасении жизни Ландау принимали участие крупнейшие врачи из ряда стран. Так, из Канады в Москву приезжал Пенфилд, член Лондонского Королевского общества, крупнейший нейрохирург. Когда к Ландау вернулось сознание, его умственные способности восстанавливались очень медленно, и к творческой научной работе он вернуться уже не смог. Последние шесть лет он только формально продолжал числиться заведующим теоретическим отделом ИФП. Его

384

физическое здоровье также полностью не восстановилось, и он умер 1 апреля 1968 г. после тяжелой операции, связанной с возникшей кишечной непроходимостью. С самого молодого возраста душевные силы Ландау были отданы научной работе. Выработанный им процесс научной работы был весьма своеобразным. Основное его свойство заключалось в том, что его личные работы трудно было отделить от научной работы с его учениками. Я себе не представляю, как Ландау мог бы так успешно работать в таком количестве областей физики без своих учеников. Эта работа осуществлялась в непрерывных беседах и регулярных семинарах, где сам Ландау был наиболее активным членом, часто выступал и делал доклады. Его доклады, в отличие от докладов большинства физиков-теоретиков, были коротки, четкого изложения и исключительно большой концентрации мысли. Такими же четкими и ясными были, критические замечания Ландау по докладам на семинарах и конференциях. При этом Ландау не упускал возможности в острой форме показать ошибки докладчика. Когда он был молод и делал это по отношению к почтенным профессорам, то это приводило к тому, что в высокой академической среде у него появились недоброжелатели, и, если бы не большой талант Ландау и его большая преданность науке, его карьера могла бы сильно пострадать.

Со своими учениками у Ландау устанавливалась самая дружеская близость в отношениях, никакой внешней формы почтения не существовало. Можно было без опасения посмеяться и подшутить над Ландау, так же как он любил это делать с другими.

Попасть в школу Ландау было нелегко. Для этого нужно было пройти ряд специальных экзаменов, программу которых он составлял сам. В эти экзамены входили не только механика и теоретическая физика, но и математика в том виде, в котором она была нужна в теоретической физике. Экзамены сдавались по разделам и могли длиться другой раз помногу месяцев. Ландау называл программу экзаменов «теоретическим минимумом», и он считал, что он составляет тот минимум знаний, с которыми ученый может начать успешно заниматься теоретической физикой. Сдать этот экзамен удавалось немногим, за все время — немногим более 40 человек. Этим ученикам Ландау щедро

385

отдавал свое время и давал им большую свободу в выборе темы, и их работы публиковались под их именами,

Но и сам Ландау получал много от своих учеников. Одной из особенностей научной работы Ландау было то, что он сам не читал научной литературы, читали ее его ученики и рассказывали ему. Ландау обычно интересовался только основной идеей, вложенной в новую работу. Если работа его заинтересовывала, он производил сам математический вывод и часто — своим путем, отличным от пути автора. Такой метод работы Ландау приводил к тому, что он исключительно глубоко проникал в современную ему теоретическую физику. Желание передать свои знания другим, в особенности своим ученикам, еще в Харькове зародило у Ландау идею создания курса теоретической физики, который теперь стал широко известным многотомным трудом Ландау и Лифшица. Написать такой курс один Ландау не мог; несмотря на то, что Ландау был прекрасным докладчиком, ему плохо удавалось излагать научные работы в письменном виде. Среди молодых физиков в Харькове в те годы были два брата Евгений и Илья Михайловичи Лифшицы. Оба весьма одаренные начинающие ученые с широким охватом теоретической физики. Старший, Евгений Михайлович, еще и обладает исключительной способностью литературного изложения научной тематики. Жизнь показала, что Лифшиц и Ландау исключительно хорошо дополняли друг друга в работе по созданию курса теоретической физики. Кроме того, их объединяла большая дружба, неизменно сохранявшаяся на протяжении всей научной деятельности Ландау. Курс теоретической физики качал создаваться в Харькове в 1935 г. и служил пособием для сдачи экзаменов по теоретической физике, которые сперва сдавались по конспектам лекций, прочитанных Ландау научным сотрудникам Харьковского физтеха.

Курс теоретической физики Ландау и Лифшица по-настоящему начал издаваться с 1938 г. Его первым томом была «Статистическая физика». Следующий том, «Механика», появился в 1940 г., в 1941 г. — «Теория поля», в 1944 г. — «Гидродинамика» и «Теория упругости», в 1948 г. — «Квантовая механика», в 1956 г. — «Электродинамика сплошных сред». Каждый том переиздавался несколько раз и каждый раз переделывался и доводился до современного уровня.

Чтобы довести этот курс до полного охвата современной теоретической физики, авторы предполагали написать еще два тома: «Релятивистская квантовая теория» и «Физическая кинетика». Преждевременная смерть Ландау помешала этому замыслу. Эти тома теперь будут написаны Лифшицем совместно с учеником Ландау — Питаевским. Таким образом, будут завершены все девять томов курса [теоретической физики](#).

О значении для развития современной физики этого уникального курса можно судить по тому, что он уже сейчас переведен на девять языков и издавался в Англии, США, ГДР, Испании, Румынии, Польше, Югославии, Японии и Китае.

Отличительное качество этого курса в том, что он так же полезен научному работнику, как и студенту. Я думаю, что его главное достоинство заключается в том, что его содержание тесно связано с запросами современной физики, теория в нем излагается не оторванно от запросов эксперимента. Поэтому и физик-экспериментатор находит в нем теорию, изложенную так, как она ему нужна для интерпретирования опытных данных. Это качество курса не случайно, оно является следствием того, что Ландау всегда проявлял живой интерес к эксперименту. Он охотно знакомился с результатами опытов, их обсчитывал и обсуждал их теоретическое значение.

В научной работе для него было органически необходимо выявление связей теории с экспериментом. Экспериментаторы в свою очередь очень любили обсуждать с Ландау свои результаты, и это, несомненно, помогало в ИФП развиваться здоровым научным направлениям.

Насколько Ландау ценил эту связь с экспериментом, видно из следующего. Я не раз говорил ему, что у нас в ИФП руководимый им теоретический отдел был небольшим — немногим более десяти научных ра-

387

ботников и аспирантов,— и я не видел никаких препятствий, чтобы в Академии наук для Ландау был создан специальный большой институт теоретической физики в тех масштабах, которые он только пожелает, но он всегда не только отклонял эти предложения, но даже отказывался их обсуждать. Он говорил, что большие масштабы ему не нужны и он весьма счастлив состоять членом коллектива нашего экспериментального института.

Как сотрудник института он принимал живейшее участие в его жизни, регулярно посещал все научные собрания и проявлял большой интерес ко всем разнообразным событиям, которые всегда имеют место в жизни коллектива научного учреждения.

Как ученый он работал очень усердно, с большим увлечением и темпераментом. Основная его сила как ученого была в четком и конкретно-логическом мышлении, опирающемся на очень широкую эрудицию. Но такой строгий научный подход не мешал ему видеть в научной работе и эстетическую сторону, что приводило у Ландау к эмоциональному подходу не только в оценках научных достижений, но и в оценке самих ученых. Рассказывая о научной работе или об ученых, Ландау всегда готов был дать свою оценку, которая обычно бывала остроумной и четко сформулированной. В особенности остроумным Ландау был в своих отрицательных оценках. Такие оценки быстро распространялись и наконец доходили до объекта оценки. Конечно, это усложняло для Ландау его взаимоотношения с людьми, в особенности когда объект критики занимал ответственное положение в академической среде.

Ландау был широко образованным человеком. Он хорошо знал английский и немецкий языки, свободно читал по-французски. Он много читал художественной литературы. Он широко интересовался всеми видами искусства, кроме связанных с музыкой, к которой он относился более чем холодно. Говорить с ним на эти темы было интересно, так как и тут его мнения были четкие и своеобразные. Он любил давать оценки отметками. Его суждения всегда были эмоциональными, и он был не чужд парадоксов, облеченных в острую форму. Ландау интересовался политикой, его взгляды были прогрессивные, но опять же в этой области его суждения носили четкий характер и события он обычно

388

рисовал либо только черными красками, либо белыми, полутона отсутствовали.

Та бескомпромиссность, которая свойственна всем крупным ученым в их научной работе, распространялась у Ландау и на человеческие отношения, но тем, кто знал Ландау близко, было известно, что за этой резкостью в суждениях, по существу, скрывался очень добрый и отзывчивый человек, всегда готовый помочь незаслуженно обиженному.

Те, кто знал Ландау в молодости, рассказывали, что в то время он был очень застенчив и даже боялся общества и всякое общение с людьми было для него сопряжено с большим волевым усилием. По-видимому, с возрастом эта застенчивость прошла, но умение приспособливаться к обществу у Ландау никогда не развилось. Только исключительная всесторонняя одаренность личности Ландау привлекала к нему людей, и по мере сближения с ним они начинали любить его и находили большое удовольствие в общении с ним.

Острее всего чувствуют потерю Ландау его многочисленные ученики, которые испытывали к нему исключительную любовь и уважение. В нашем институте все сотрудники любили Ландау, и его потеря остро чувствуется всем коллективом.

Признание научных заслуг Ландау было отмечено рядом академических отличий как в СССР, так и за рубежом. Ландау был избран действительным членом Академии наук СССР в 1946 г. Трижды ему присуждались Государственные премии (в 1946, 1949, 1953 гг.), Ленинская премия — в 1962 г. Как за свою научную деятельность, так и за выполнение государственных заданий он получил звание Героя Социалистического Труда (1954 г.) и награжден дважды орденом Ленина и рядом других орденов. ;

Он был иностранным членом Лондонского Королевского общества, академий Дании, Нидерландов, США и ряда других научных обществ. В 1962 г. ему была присуждена Нобелевская премия «за пионерские исследования в теории конденсированного состояния, в особенности жидкого гелия». Ему была также присуждена медаль Макса Планка (ФРГ, 1961 г.) и премия имени Ф. Лондона (1961 г.) в США,

389

**) «Среди русских химиков, которые стали известными химиками, мы упомянем Михаила Ломоносова, которого не надо смешивать с поэтом того же имени»,*

**) За годы, прошедшие после этого выступления, ядерная физика уступила ведущее место физике твердого тела и физике плазмы.*

**) Эта программа в настоящее время выполнена Е. М. Лифшицем и Л. П. Питаевским. Издан том, посвященный релятивистской квантовой теории,— «Квантовая электродинамика» (совместно с В. Б.*

Берестецким, 2-е изд., 1980 г.). В 1979 г. вышла в свет «Физическая кинетика». Кроме того, издана дополнительно вторая часть «Статистической физики», посвященная, в частности, теории сверхтекучести, сверхпроводимости и магнетизму (1978 г.). Таким образом, весь курс состоит из десяти томов.

ЗАДАЧА ВСЕГО ПЕРЕДОВОГО ЧЕЛОВЕЧЕСТВА {ПОЛЕМИКА С Б. РАССЕЛОМ}

Статья в журнале «Новое время» 1956

Военные эксперты считают, что урон, который наносит взрыв термоядерной бомбы, количественно настолько больше, чем от всех прежних орудий разрушения, что атомная война приобретает качественно новый облик.

Совершенно несомненно, если возникнет атомная война, то урон и несчастья, которые она причинит людям как в воюющих, так и в нейтральных странах, будут настолько велики, что их нельзя будет сравнить ни с одним из самых ужасных стихийных бедствий, которые когда-либо обрушивались на народы. Вот почему передовая часть всего человечества не должна жалеть ни сил, ни энергии, чтобы бороться с возможностью возникновения атомной войны.

За последние годы в этом направлении энергично борется Бертран Рассел. Мне глубоко симпатична эта деятельность. Крупный авторитет Рассела как ученого и мыслителя не может не оказать значительного влияния в борьбе за предотвращение атомной войны.

Мне как ученому, не работающему ни в области ядерной физики, ни в области ее применения (хотя часто в иностранной прессе совершенно неправильно такого рода деятельность мне приписывается), также хотелось бы внести свой вклад в решение проблемы предотвращения атомной войны. Поэтому я охотно принял предложение редакции «Нового времени» высказать свои мысли по поводу статьи Бертрانا Рассела.

Найти общественные и государственные мероприятия, которые смогут полностью оградить человечество от атомной войны,— очень трудная задача, Успешное

390

ее решение может быть найдено только путем свободного и искреннего обсуждения в широких интернациональных рамках. Решение этой задачи усложняется еще тем, что в нее входят, кроме научных, еще политические и социальные элементы. Поэтому такая работа требует тесного сотрудничества ученых и общественных деятелей. К сожалению, подобное сотрудничество еще не вошло в традиции решения государственных вопросов. Мне думается, что в данном случае ученым не следует ограничиваться только научной стороной вопроса, но необходимо также вмешиваться в социальную и политическую стороны проблемы. Если при этом будет проявляться некоторый дилетантизм, то этого не следует бояться, так как мало найдется людей, которые могли бы глубоко охватить все стороны такого сложного вопроса.

На пути поисков решения поставленной задачи ученым надо, прежде всего, четко ответить на вопрос о последствиях урона от применения ядерного оружия. Разрушительное действие бомб любого типа на военные и гражданские сооружения может быть точно установлено. Как бы велико оно ни было, опыт предыдущих войн показывает, что за одно поколение страна всегда может восстановить материальную базу, которая ей необходима для нормальной жизни. Но главным ужасом ядерного оружия являются исключительно тяжелые для людей последствия, вызванные загрязнением атмосферы медленно распадающимися радиоактивными веществами.

Уже давно известны разнообразные и очень тяжелые формы последствий радиоактивного отравления. Но, несмотря на это, точно предвидеть их биологическое воздействие на человечество после атомной войны очень трудно и даже навряд ли возможно. Современная биология основывает свои выводы на эмпирических данных, полученных из статистической обработки клинического опыта. Количество такого опытного материала, поскольку это касается людей, весьма ограничено, и делать надежные статистические обобщения очень трудно. Поэтому пройдет много времени, пока будут достоверно решены такие важные для нас вопросы, как способность организма приспособляться к радиоактивному излучению или возможность использования лекарственных средств для защиты людей от излучения.

391

Еще труднее будет точно решить вопрос о пагубном воздействии радиации на наследственность — в какой степени она может привести к созданию неполноценного потомства. По данным, имеющимся сейчас в научной литературе, можно заключить, что большинство ученых считает, что отравление атмосферы даже после самой крупной атомной войны не приведет к прекращению жизни на Земле. К тому же нельзя забывать, что, как показывает история человечества, даже при эпидемиях самых ужасных болезней всегда находились люди, имевшие природный иммунитет, которые не гибли и не теряли жизнеспособности.

Вот почему неверно было бы утверждать, что одно чувство страха перед тяжелыми последствиями атомной войны исключает возможность появления человека с образом мыслей и моральным уровнем Гитлера, который при осуществлении своих агрессивных действий смог бы побудить своих верноподданных не считаться с бедствиями атомной войны.

В борьбе за предотвращение атомной войны необходимо также учитывать возможность того, что будет найдена полноценная защита от ядерного оружия. Если этого добьется страна с агрессивными намерениями, то, будучи сама защищена от непосредственного воздействия ядерного оружия, она гораздо легче может решиться развязать атомную войну.

Поэтому весьма важно, чтобы ученые ответили на вопрос, возможно ли найти эффективную защиту от ядерного оружия.

История показывает, что всякое новое оружие нападения всегда вызывало появление соответствующего ему нового оружия защиты. Трудно предположить, чтобы ядерное оружие представляло исключение из этого правила.

Несомненно, что в различных странах над этой проблемой усиленно работают ученые и инженеры. Результаты этих работ, конечно, не оглашаются, но все же можно строить предположения об открывающихся тут перспективах.

Сейчас принято считать, что единственно возможный способ защиты заключается в преграждении доступа снарядам, несущим ядерные бомбы. Можно ли утверждать, что нельзя найти способ полностью преградить доступ на данную территорию любому типу снарядов, несущих ядерные бомбы? Я думаю, основываясь

на современном состоянии науки, что нельзя отрицать возможности найти такой способ, хотя найти его — очень трудная научно-техническая задача, еще не имеющая очевидного и общепризнанного решения. Если это решение будет найдено, то, по всей вероятности, оно будет базироваться на явлениях природы, которые либо еще мало изучены, либо пока еще неизвестны. Далее, несомненно, что этот способ защиты должен быть связан с мощными энергетическими процессами, в силу чего его осуществление потребует значительных материальных средств. Следовательно, такого рода работы будет трудно скрыть от «бдительного глаза» соседей.

Если страны, склонные проводить свою внешнюю политику «с позиции силы», первыми найдут эффективный способ обороны от ядерного оружия, они могут «забыть» о любых своих обязательствах. Они могут или развязать атомную войну, или, во всяком случае, использовать полученное преимущество, чтобы навязать свою волю другим.

Поэтому при заключении международных договоров, которые имеют целью предотвратить атомную войну, необходимо учитывать возможность изобретения эффективного способа защиты. В таких договорах нужно предусмотреть обязательство о взаимном осведомлении о ходе опытной работы по оборонным мероприятиям, как бы это ни усложнило условия взаимного контроля над выполнением договора.

Конечно, Б. Рассел совершенно прав в том, что самый надежный способ предотвратить ядерную войну — это предотвратить войну вообще.

Основой борьбы за мир служит сейчас то естественное чувство отвращения к войне и стремление к миру, которое заложено в широких массах трудящегося населения. Поэтому надо всячески приветствовать деятельность сторонников мира во всех странах, которая стимулирует, объединяет и организует это стремление к миру и препятствует возникновению войны. К сожалению, такого рода деятельность сама по себе еще не может надежно и окончательно прекратить войны между странами. Несомненно, что эмоциональный элемент в истории человечества играет существенную роль, но, однако, не решающую.

Не следует забывать, что войны есть часто повторяющееся явление, которое неизбежно имеет законо-

мерные связи с социальными процессами. Факторы, обуславливающие возникновение войны, поддаются научному анализу, поэтому их можно выявить. Основная задача ученых заключается в том, чтобы изучать эти факторы и этим путем способствовать нахождению мероприятий, предотвращающих возникновение войны. Основная задача общественных деятелей — энергично проводить такие мероприятия в жизнь.

Выявление и искоренение тех разнообразных социальных факторов, которые являются причиной возникновения войн, надо поэтому считать основой в борьбе за предотвращение атомной войны. Этот процесс искоренения, несомненно, происходит уже сейчас, но, как всякий социальный процесс, связанный с согласованной деятельностью большого количества людей, он протекает медленно.

Существует к тому же опасность, что этот оздоровительный процесс развития мирных отношений между странами может быть прерван внезапно вспыхнувшей войной. При всем несовершенстве форм контроля, мероприятия по запрещению испытаний ядерных бомб, по запрещению их производства и применения и любые другие договоры по разоружению следует поэтому приветствовать и всячески поддерживать. На данном этапе они, безусловно, являются основными международными государственными мероприятиями, которые будут затруднять возникновение войны.

Исходя из этих соображений, я не могу согласиться с Б. Расселом в его критике предложений о запрещении ядерного оружия, и мне хотелось бы ему напомнить поговорку, что «лучшее — враг хорошего».

ФИЛОСОФИЯ И ИДЕОЛОГИЧЕСКАЯ БОРЬБА

Из выступления на заседании Президиума Академии наук СССР

1969

Я с интересом прослушал доклад И. Т. Фролова о перспективах работы журнала «Вопросы философии», так как он своевременно ставит вопрос о дальнейшем развитии мировоззрения, лежащего в основе построения нашего социалистического общества. Я думаю, что

394

мы в Академии наук недостаточно оцениваем значение этих философских вопросов в нашу эпоху.

Будущий историк, несомненно, будет рассматривать наше столетие как борьбу двух систем организации общества — капиталистической и социалистической. Эта борьба идет в нескольких областях: экономической, политической и идейной. Развитие нашего государства за полвека после Октябрьской революции показало, что социалистическая система построения общества вполне жизнеспособна. Сравнивая ее с наиболее развитой капиталистической системой США, с полной объективностью можно утверждать, что сейчас в основных областях материального и культурного развития, в народном образовании, в развитии науки, в обороноспособности обе страны достигли примерно одинакового уровня. Единственно, где мы еще отстаем, это в области промышленно-технического развития; в основном это вызвано тем, что производительность труда у нас еще не достигла уровня США.

Таким образом, теперь вопрос все больше и больше сводится к борьбе тех идейных основ, на которых развиваются эти две системы. Философия определяет те идеологические принципы, на которых основывается взаимоотношение человека и общества. Как известно, в основе идеологии капиталистического общества лежит, в первую очередь, стремление личности к материальному благополучию. В основе социалистической идеологии лежит развитие всего общества в целом, и необходимым условием для этого является всестороннее развитие личности. Поэтому в социалистическом обществе наиболее высоко ценятся творческие и этические качества личности, и общество стремится их развивать. Эти противоречия в отношении к человеку в обеих структурах общества и лежат в основе идеологической борьбы двух систем. Сегодня тот общественный строй является наиболее прогрессивным, в котором наиболее полноценно развиваются духовные качества человека, поскольку это является основой для его наиболее счастливого существования.

Хорошо известно, что в последние годы в капиталистических странах нарастает революционное движение массового характера, в особенности среди молодежи. Это движение охватывает все наиболее развитые капиталистические страны, оно нарастает, и его лидером

395

является студенчество. Силы, вызывающие это движение, еще полностью не поняты, но уже установлено, что это движение не вызвано недовольством материальными условиями человека в обществе, оно направлено на изменение тех идеологических условий, в которых человеку приходится жить в капиталистическом обществе.

Таким образом, передовая общественность капиталистических стран сама, без влияния извне, спонтанно ставит вопрос о пересмотре идеологии, на которой основывается капиталистическое общество. По какому пути пойдет этот пересмотр? Кто создаст ту программу реконструкции, которую примет передовая часть общества и которая правильно поведет ее к прогрессу человечества? Очевидно, это решится в процессе идеологической борьбы различных мировоззрений, которая сейчас уже началась и быстро развивается.

Должны ли мы открыто включиться в эту борьбу, какова должна быть наша роль в этой борьбе? Несомненно, идеи и принципы, которые лежат в основе построения коммунистического общества, как они были даны марксизмом, являются единственными, которые могут направить эту борьбу в правильном направлении. Это сейчас признается всей прогрессивной частью человечества. Сейчас идут поиски конкретных путей наиболее эффективного развития этого революционного движения. Эти поиски ведутся в процессе борьбы между идеологами новой формации, такими, как, например, Маркузе. В борьбу включаются троцкисты и другие. Надо не бояться сознаться, что сейчас наши идеологи стоят изолированно от этого революционного процесса, и практически влияние их отсутствует. Это ненормально, это противоречит тому, что уже само успешное существование нашего социалистического общества, в качестве примера, само по себе не может не влиять на это революционное движение.

Как нам наиболее действенно включиться в эти революционные процессы, происходящие в капиталистическом обществе? Сейчас, чтобы не отстать от развития передовой мысли и учесть последствия происходящей в мире научно-технической революции, мы должны поднять уровень наших общественных наук. Поэтому нам в Академии наук нужно высоко оценить стремление редколлегии журнала «Вопросы философии» способствовать развитию философии, имея одной, из основных целей ока-

396

зать влияние на развитие общественной мысли происходящего сейчас революционного движения в капиталистических странах.

Но чтобы оказать это влияние, нам надо активнее включиться в происходящую там идеологическую борьбу. В этой борьбе нашим философам придется выступать на равных началах, так же, как нашим спортсменам. Надо сказать, что наши идеологи потеряют привилегию, которую они имеют в нашей стране, где они не сталкиваются с противоположными взглядами. В предстоящей борьбе этого не будет, там все пойдет по «гамбургскому счету».

Поэтому я предлагаю Президиуму АН СССР поддержать программу, выдвинутую новой редколлегией журнала «Вопросы философии», поскольку она ставит перед журналом задачу поднять его международное влияние, и на Президиуме Академии наук больше времени уделять рассмотрению философских вопросов, касающихся идеологических основ социалистического общества. Сейчас на Президиуме в наших научных докладах практически отсутствует эта тематика. Это надо изменить.

БУДУЩЕЕ НАУКИ

Речь на Международном симпозиуме по планированию науки

1959

Меня попросили выступить на тему о будущем развитии науки. Это трудная, но интересная и полезная задача: только имея ясную перспективу будущего, мы можем правильно направлять нашу работу в настоящем.

Мне хочется отметить, что здесь, на конференции, я являюсь одним из старейших ее участников. На протяжении моей сорокалетней научной деятельности я имел возможность наблюдать те многочисленные изменения, которые происходили в развитии науки и в ее задачах. Окидывая мысленно взглядом этот период развития науки, трудно не отметить те коренные изменения в отношении к ней, которые сейчас происходят. В дни моей молодости часто говорили о «чистой науке»,

397

науке для науки. Теперь об этом нет и речи. Наука сейчас стала рассматриваться как необходимая составная часть общественного строя, и не только как полезная, но и как неотъемлемая его часть. Государство все больше уделяет внимание науке как важнейшему элементу государственной жизни; теперь научные учреждения ставятся наравне с другими ответвлениями общественного устройства, например народным образованием, транспортом, армией. Этого не было 50 лет тому назад; тогда в организации науки господствовали случайные факторы, а ее развитие основывалось на частной инициативе.

Сейчас с расширением масштабов научно-исследовательской работы во всех странах государственные ассигнования на развитие науки продолжают расти как в академических научных учреждениях, так и в промышленных. Строятся сложнейшие установки громадного размера, как ускорители на много миллионов вольт, мощные атомные реакторы, запускаются спутники для исследования космоса и т. д. Решение таких задач не может быть делом отдельных лиц, но является результатом коллективного творчества и требует больших организационных усилий и средств, посильных только крупным государствам.

В связи с ростом масштабов научной работы происходит деление науки на базисную (познавательную) и прикладную. Я думаю, что это деление во многом следует считать искусственным, и трудно указать точку, где кончается базисная и начинается прикладная наука. Это деление связано с тем, какие непосредственные цели преследует ученый — познавательные или прикладные. Поэтому базисная наука все больше сосредоточивается в академических институтах и университетах, а прикладная — в научно-исследовательских учреждениях при промышленности. Такое разделение науки больше связано с необходимостью финансирования, планирования и контролирования научных работ.

В деятельности ряда крупных ученых трудно проследить, когда они преследовали прикладную цель, а когда познавательную. Например, крупнейший ученый Ленгмюр всю свою жизнь работал на промышленных предприятиях и решил ряд крупнейших технических задач в электроламповой промышленности, но хорошо

известно, что в ходе этих работ он сделал ряд фундаментальных исследований в электронике и в вакуумной физике.

Коллективная работа в науке и роль руководителя

Теперь мы часто обсуждаем, как должна быть организована научная работа, которая по своим масштабам требует участия большого слаженного творческого коллектива. Кто должен руководить работой такого коллектива — ученый или администратор?

Профессор Бернал в своем выступлении сказал, что администраторы здесь играют решающую роль и они необходимы для организационной работы над крупными научными проблемами. Я не согласен с профессором Берналом — не в том, что такие организаторы для коллективной работы в науке необходимы,— это правильно, но, по-моему, ими должны быть не администраторы, а непосредственно сами ученые. Я смогу лучше всего выразить свою мысль, прибегнув к сравнению с другими областями творчества, а именно с театром и кино.

Некогда театр состоял только из труппы актеров, и режиссер был незаметной фигурой. Теперь же, особенно с развитием кино, в котором участвуют тысячи и десятки тысяч актеров, главная роль, определяющая успех постановки, перешла к режиссерам. При большой коллективной работе режиссер стал теперь необходим также и в науке. Какие требования мы ставим перед ним? Главное требование то, что его роль должна быть творческой, а не чисто административной. Он должен понимать смысл и цель научной работы и должен правильно оценивать творческие возможности исполнителей, распределять роли по талантности и так целесообразно расставить силы, чтобы все стороны решаемой проблемы развивались гармонично.

Поскольку для организации решения всякой новой научной проблемы надо находить свои организационные формы, руководитель крупной научной проблемы, даже если он сам лично и не работает в науке, должен быть человеком с большим творческим талантом. Не знаю, почему руководитель такого великолепного достижения в науке, как пуск первого спутника, не достоин Нобелевской премии, хотя, может быть, он лично

399

•и не выполнял научной работы, связанной с подготовкой этого уникального опыта? Разве он не организовал его? Такие кинорежиссеры, как Сергей Эйзенштейн или Рене Клер, о которых можно сказать, что они крупные творческие руководители, и которые, как всем нам хорошо известно, создали самые замечательные художественные фильмы, сами не были при этом актерами. Мы знаем случаи, когда большой актер вместе с тем является и большим режиссером, например Чарли Чаплин. Так и в науке известны случаи, когда большой ученый является и большим организатором коллективной научной работы. Такими разносторонними учеными были, например, Резерфорд и Ферми. Но это, конечно,— счастливое исключение, а не правило. Несомненно, что сейчас наступает такой период развития науки, когда организаторам науки будет отводиться все более и более крупная роль.

Мне кажется, что теперь мы должны начинать специально воспитывать и готовить людей — организаторов больших научных проблем и, чтобы сделать эту должность привлекательной, относиться к таким людям с большим уважением, а не относить их просто к некоторой разновидности бюрократов-администраторов. В коротком докладе трудно сформулировать, по каким принципам нужно отбирать этих людей и как их учить и воспитывать. Они встречаются очень редко, и, по-видимому, это один из уникальных видов человеческого таланта, и поэтому они нуждаются в очень большом внимании и в большой заботе.

Итак, я предполагаю, что одна из задач будущего — это воспитание и развитие нового типа ученого-организатора, деятельность и значение которого я только что описал. Этот тип ученых-руководителей в настоящее время находится в начальной, стадии своего развития, но в будущей науке больших масштабов будет играть решающую роль,

Масштабы научной работы

Следующая проблема, на которой я хочу остановиться,— это масштабы, которых научная работа достигнет в будущем. Попробуем разобрать вопрос: какой объем средств (людские резерв, материальные и денежные средства) со временем будет выделять государ-

400

ство на научную работу? В настоящее время даже в самых развитых государствах этот объем составляет только три-четыре процента всего бюджета. Но с каждым годом эта доля неукоснительно растет как в социалистических, так и в капиталистических странах.

Сейчас многие экономисты отмечают крупные социальные явления в связи с поднятием технической культуры. И в промышленности, и в сельском производстве роль физического труда непрерывно уменьшается. Уже неоднократно отмечалось в печати, что с ростом ресурсов электроэнергии, с внедрением механизации и автоматизации производство будет брать от человека только небольшую часть его сил: за счет энергии электростанций эту работу будут выполнять кибернетические машины, а освобожденные творческие силы и духовная энергия людей будут главным образом направляться на науку и искусство. Спрашивается, какая же часть человечества будет со временем заниматься наукой и искусствами? Здесь мы можем прибегнуть к аналогии в стиле Герберта Спенсера. Если сравнить государственный организм с животным и вес той части тела животного, которая выполняет умственную работу, а именно головы, сравнить с весом всех остальных частей тела, которые выполняют физическую работу, мы получим интересный результат. Начнем с допотопного животного, например динозавра. Это было животное с маленькой головой и гигантским телом. В эволюционном развитии жизни на Земле такому животному не принадлежало будущее. Будущее в борьбе за существование принадлежало человеку, вес головы которого составляет примерно 5—10% от веса тела.

Так и в эволюционном развитии человеческого общества культура будет непрерывно расти и на нее будет тратиться все больше и больше средств. Здесь можно заметить, что природа пока что предоставляла развитию духовного начала человека по сравнению с физическим качественно более щедрые возможности, чем до сих пор предоставляли ;даже наиболее развитые государства.

В одной из своих статей академик Н. Н. Семенов писал, что в будущем тем или иным путем половина человечества будет участвовать в созидательном научном труде. Таким образом, одна половина населения государства будет выполнять общественные функции,

401

другая же будет работать в институтах, конструкторских бюро, на опытных заводах, там, где не может иметь место механизация и автоматизация, но необходим индивидуальный подход к решению каждой поставленной новой проблемы. Профессор Бернал научно-творческую деятельность людей в будущем рисует иначе. Он предполагает, что каждый человек часть своего времени будет отдавать умственной творческой работе, а другую часть времени — производительному труду. Мне лично кажется более вероятным предположение Семенова, поскольку люди, склонные к творческой деятельности, будут ей отдаваться всецело. Это дает людям большее удовлетворение, и это делает их творческий труд более производительным,

Научные открытия будущего

Сейчас я хочу остановиться на тех областях науки, которые, как можно предполагать, будут заново возникать в будущем. Тут прогнозы можно делать, исходя из разных предпосылок. Я предполагаю это сделать по принципу экстраполяции и поэтому начну рассмотрение с оценки количества новых явлений природы, которые были

открыты наукой в течение прошедших лет. Я хочу оговориться, что выражение «новое явление» я прилагаю к такому физическому явлению, которое нельзя ни полностью предсказать, ни объяснить на основе уже имеющихся теоретических концепций, и поэтому они открывают новые области исследований. Чтобы сделать предложенную экстраполяцию более ясной, я назову главные, основные новые явления в физике, которые были открыты за последние сто пятьдесят лет.

Прежде всего я хочу назвать открытие Гальвани в 1789 г. электрического тока, которое, конечно, никак не вытекало из существовавших тогда теоретических концепций о природе электричества, в основном созданных Франклином.

Следующее открытие, подходящее под данное определение,— это открытие Эрстедом в 1820 г. влияния электрического тока на магнитную стрелку. С нашей точки зрения, сделанное позже открытие Фарадеем магнитной индукции не является новым, так как магнитная индукция по своему существу представляет собой явление, обратное открытому Эрстедом и, таким обра-

402

зом, в то время его можно было предвидеть. Работы Эрстеда и Фарадея привели к закону Ленца, к созданию уравнений Максвелла и к ряду других фундаментальных выводов, но все они были разработкой основного открытия Эрстеда, предсказать которое на теоретической основе было совершенно невозможно.

Следующий пример нового явления — внешний фотоэффект, открытый в 1887 г. Герцем (мы все, конечно, гораздо больше чтим Герца за обнаружение им электромагнитных волн). Это явление также невозможно было предвидеть теоретически. На основе изучения фотоэффекта лет тридцать спустя вывел свои знаменитые уравнения Эйнштейн, определивший квантовую природу этого явления.

Принцип неопределенности и квантовая теория были предопределены открытием фотоэффекта, и все замечательные научные разработки этого явления составляют лишь дальнейшую методическую работу.

Затем можно назвать открытие Беккерелем в 1896г. радиоактивности (которую также нельзя было предугадать на основе существовавших тогда теорий), заложившей начала ядерной физики.

Далее, обнаружение Томсоном электрона тоже можно рассматривать как открытие нового явления, заложившего основание современной электроники. Эксперимент Майкельсона и Морли, поскольку он дал результат, который нельзя было предвидеть теоретически, тоже можно назвать открытием новых явлений, установивших основные принципы теории относительности. Нельзя было предугадать открытие Гессом в 1919 г. космических лучей. Я полагаю, что нужно отметить как новое также открытие деления урана, сделанное Мейтнер и Ганом.

Что типично для всех прежних открытий? Прежде всего, ценность их осознавалась полностью лишь через 20—30 лет, когда становилось понятным, что они не могут быть объяснены научными взглядами того времени, и поэтому под их влиянием менялись и развивались новые направления в основных теоретических концепциях.

Возможны ли подобные открытия в будущем? Исчерпаны ли в настоящее время все физические открытия в природе? Есть ли еще такие фундаментальные новые явления в природе, которые ждут своего открытия?

403

Если построить кривую и по горизонтальной оси отложить время, а по вертикальной — число открытий и если добросовестно рассмотреть эту кривую открытий, то мы увидим, что она не имеет тенденции падать к нулю. Поэтому, экстраполируя эту кривую, мы видим, что в ближайшем будущем мы будем свидетелями еще не одного не менее важного и «нового» открытия, чем только что перечисленные. Они позволят еще глубже понимать окружающую нас природу и предоставят в распоряжение людей новые возможности для роста нашей культуры. Обычно можно видеть, что люди склонны считать, что они уже знают о природе все, что можно знать. Так было всегда. Достаточно почитать труды современников Ньютона, чтобы видеть, что и тогда многие считали, что с открытием классических законов механики закончено познание мертвой природы. Хотя это часто и противоречит нашему субъективному ощущению, но мы не должны впредь делать ту же ошибку — считать, что в будущем новых открытий не будет сделано.

Возможно, вы спросите меня, какие же это будут открытия.

Если бы я мог их предсказать, то тем самым они не стали бы неожиданными и новыми. И все же я хочу привести один пример, когда мне казалось, что я мог бы сделать открытие, которое уже было передо мной, но я не попытался его осуществить. В этом примере есть поучительный элемент.

Когда в 30-е годы я получил очень сильные магнитные поля, в 10 раз сильнее тех, которые получали до меня, ряд ученых советовал мне провести опыты по исследованию влияния сильного магнитного поля на скорость света. Настойчивее всех со мной говорил об этом Эйнштейн. Он сказал: «Я не верю, что бог создал Вселенную такой, что в ней скорость света ни от чего не зависит». Эйнштейн любил в подобных случаях ссылаться на бога, когда более разумного довода не было. Из сделанных уже в этом направлении опытов было известно, что если бы я осуществил такой опыт с моими более сильными полями, то все же эффект был бы очень маленький, только второго порядка. При этом, конечно, истинную величину эффекта, поскольку явление было бы новое, предвидеть было нельзя. В то же время опыт обещал быть исключительно сложным, так

404

как до этого проводились подобные эксперименты с полями до 20 тысяч эрстед, и они показали, что даже при очень чувствительном методе измерения магнитное поле заметно не влияет на скорость света.

Другим человеком, настаивавшим на этом эксперименте и даже предлагавшим финансовую поддержку, был Оливер Лодж. Он также обращался ко мне с советом осуществить этот исключительно трудный и тонкий опыт. И все же я отказался. Почему? Поясню это следующим поучительным примером, который, может быть, многим неизвестен.

Как вы помните, закон сохранения вещества был экспериментально открыт Ломоносовым в 1756 г. и несколько позже Лавуазье. В начале нашего века Ландольт проверил его с большой точностью. Он также поместил вещество в запаянных сосудах и точно взвесил его до и после реакции и показал, что вес остался неизменным с точностью не меньше чем до десятого знака. Если взять энергию, которая высвобождается при химической реакции и, согласно уравнению из теории относительности, выведенному Эйнштейном, рассчитать изменение в весе вещества, то окажется, что если бы Ландольт провел свой опыт с точностью на два-три порядка больше, то он смог бы заметить изменение веса в прореагировавшем веществе.

Таким образом, мы знаем теперь, что Ландольт очень близко подошел к открытию одного из самых фундаментальных законов природы. Но предположим, что Ландольт затратил бы еще больше сил на этот опыт, проработал бы еще лет пять и поднял бы точность на два-три порядка и заметил бы это изменение в весе; большинство ученых ему все же не поверили бы. Известно, что один опыт, сделанный с предельной точностью, всегда неубедителен, и, чтобы его проверить, надо, чтобы нашелся еще один экспериментатор, готовый затратить на него тоже лет десять усиленной работы. Жизнь подсказывает, что пока решение задачи известными методами лежит на пределе точности эксперимента, убедительным оно может быть, лишь когда сама природа подскажет новый метод решения. В данном случае так и было: закон Эйнштейна был довольно просто проверен Астоном, когда он изобрел и разработал новый точный метод определения массы радиоактивных изотопов по отклонению ионного пучка. Поэтому

405

мы должны ждать и в описанном мною случае, когда сама природа предоставит нам новые методические возможности изучать влияние магнитного поля на скорость света, и, вероятно, тогда появятся простые и убедительные эксперименты для изучения этого явления. Вот почему я отказывался от проведения этих сложных опытов.

Заканчивая этот раздел, я думаю, что с полной уверенностью можно сказать, что в недалеком будущем физикам предстоит открыть еще очень много нового и интересного, и уместно вспомнить слова Гамлета: «Есть многое на свете, друг Горацио, что и не снилось нашим мудрецам». Так было триста лет назад, во времена Шекспира, и так будет всегда. В сущности, здесь идет речь не о чем ином, как о законе непрерывного диалектического развития познания человеком природы.

Важнейшие научные проблемы ближайшего будущего

Помимо открытия новых явлений природы, которые мы не можем предвидеть, главные усилия ученых всегда будут направлены на более глубокое изучение уже открытых явлений природы, на решение методических и прикладных задач. Чтобы найти те направления научных работ, которые в ближайшем будущем станут ведущими, надо определить области естествознания, которые теснее всего связаны с наиболее актуальными запросами жизни.

Всем хорошо известны наиболее важные и интересные проблемы, которые сейчас стоят перед наукой, и я на них не буду останавливаться детально. Первая из таких проблем — это завоевание космического прост-

ранства. Для осуществления этой цели сделано основное — человек вырвался из гравитационного поля Земли; главная задача будущего в том, что нам предстоит использовать ядерную энергетику как двигательную силу космических кораблей. Какие практические результаты даст решение этой проблемы? Увеличится возможность заселения других планет. Это, конечно, задача весьма далекого будущего, нам пока не тесно и здесь, на Земле. Но красота и увлекательность проникновения в новые, неизведанные области и заключается в том, что человек не может предвидеть того, что он

406

там для себя найдет. Весь накопленный исторический опыт неизменно показывает, что проникновение в новые области всегда открывает и новые возможности поднятия человеческой культуры. Несомненно, так будет и здесь.

Можно отметить, что и сейчас уже существуют практические возможности использования космических ракет: это — удаление радиоактивных отходов и шлаков, остающихся от атомных реакторов. Не раз уже указывалось, что в ближайшем будущем начнет скапливаться такое большое количество радиоактивных отходов от атомных энергетических установок, что их хранение станет затруднительным и опасным, и многие считают, что это будет главным препятствием на пути крупного развития атомной техники. Если отправлять эти радиоактивные шлаки в космическое пространство на ракетах, это будет вполне безопасно для человечества и, по-видимому, не повлечет за собой больших расходов. Избавление от радиоактивных отходов таким способом может явиться решением этого вопроса.

Одна из постоянных важнейших проблем настоящего и будущего — это получение дешевой электроэнергии. Важнейшее возможное решение этой проблемы — управляемая термоядерная реакция. Это самая важная проблема современной физики, она даст людям неиссякаемый источник энергии; ее решение зависит от создания плазмы при достаточно высокой температуре. Путь решения этой проблемы ученые пока ищут.

Более близка нам проблема эффективного использования тепла от сгорания топлива. Известно, что для превращения энергии сгорания угля в электрическую теперь создают цепочки процессов: сперва химическую энергию превращают в топке в тепло, потом в котлах превращают тепло в пар, далее в паровых машинах — в механическую энергию и, наконец, в генераторах — в электроэнергию. Но так удается использовать только 30—35% химической энергии угля, и это при больших капиталовложениях в машины. Чтобы сделать этот процесс более эффективным в будущем, намечается создание нового направления, я имею в виду так называемые магнитогидродинамические генераторы. Идея этих генераторов была предложена в начале века. Она заключается в том, что если быстротекущую струю хорошо проводящей плазмы пропускать через магнитное

407

поле, то возникает поперечная электродвижущая сила. За счет этой силы можно получать ток и таким образом превращать кинетическую энергию струи в электроэнергию. За последнее время благодаря развитию реактивной авиации и ракетной техники процесс получения мощных струй высокотемпературного газа хорошо освоен; поэтому осуществление старой идеи магнитогидродинамического генератора стало реальным, и над этим сейчас серьезно работают крупные институты и у нас, и в США. Можно предвидеть, что этот генератор будет эффективно работать, когда будет давать большие мощности, порядка нескольких сот мегаватт; при этом вся установка будет очень малогабаритна. Но все же наиболее привлекательным должно быть • осуществление прямого перехода химической энергии в электроэнергию. В обычных гальванических элементах и в аккумуляторах это уже давно осуществлено, и, как известно, тут возможен почти полный переход химической энергии в электроэнергию и теоретически к. п. д. может быть близким к единице. Основная задача, которая стоит перед учеными,— это создать такой гальванический элемент, где бы непосредственно получалась электроэнергия от реакции окисления угля. Осуществление таких газовых элементов, работающих при повышенных температуре и давлении, оказалось возможным, и тут за последние десятилетия имеются заметные успехи, хотя задача еще не доведена до практического решения. К сожалению, сомнительно, что вообще удастся осуществить подобные установки для больших мощностей, поскольку это связано с принципиальными трудностями. Дело в том, что химическое окисление газовых элементов приходится осуществлять на поверхности электродов, а не в объеме электролита, а при этих условиях для больших мощностей потребуется очень развитая поверхность, что осуществимо только в

больших масштабах. Поэтому этот принцип генерирования электроэнергии будет иметь значение только в энергетике малых форм.

Никогда не следует забывать об одной проблеме энергетики: о прямом превращении химической энергии в механическую. Тут люди отстали от природы. Мускульный двигатель все еще самый распространенный. Если взять количество механической энергии, производимой мускулами всех животных, то пока она еще в 408 раз больше, чем энергия от всех тепловых двигателей, созданных людьми. Кроме того, мускульный двигатель, как показывает опыт, является весьма эффективно работающим, с большим коэффициентом полезного действия, чем моторы, турбины и другие тепловые двигатели. Но самое удивительное, и в этом нужно сознаться,— это то, что до сих пор учеными не понята сущность мускульного процесса. Есть много гипотез, но пока ученым не удастся воспроизвести искусственно процесс сокращения мускульного волокна, до тех пор нельзя считать этот процесс понятым.

Несомненно, работа по изучению механизма мускульного сокращения будет одной из центральных проблем научных исследований будущего. В этой работе будут участвовать физики, химики и биологи. Какова вероятность ее завершения в ближайшие годы? Задачу можно будет считать решенной, если нам удастся воспроизвести обратимое сокращение синтетического волокна под влиянием изменения свойств окружающей среды, т. е. смоделировать мускульные процессы. Сейчас непрерывно увеличивается число типов звеньев цепочек, образующих волокна синтезируемых полимеров. Все глубже начинают понимать характер и свойства молекулярных связей в полимерах, и все это дает надежду, что секрет мускульного сокращения будет раскрыт на искусственном волокне. Во всяком случае, это одна из важнейших задач ближайшего будущего, решив которую люди, возможно, получат в руки эффективный механический двигатель. Естественно ожидать, что такой двигатель будет портативен и будет пригоден только для получения небольших мощностей.

Попутно отметим, что в волокнах полимеров скрыто еще много секретов, знать которые очень полезно людям. Например, хорошо известно, что по нервным волокнам, которые мы рассматриваем как диэлектрики, может свободно распространяться электрический импульс — сигнал. Мы знаем, что это, несомненно, имеет место в нервных волокнах, но механизм этого интересного явления пока еще совсем не понят, и воспроизводить его мы не умеем. Когда и эта задача будет решена, то мы сможем делать сигнализационные схемы, счетчики и другие элементы кибернетических машин без металлических проводов. Понять это явление — тоже одна из больших проблем будущего.

409

Научно-методические проблемы будущего

Имеется ряд важнейших научных и научно-технических проблем, которые мы сейчас не можем решить из-за ограниченных методических возможностей, которыми мы располагаем. Эти методические возможности могут быть ограничены либо комплексностью самого явления, которое приводит к неразрешимой по своей сложности математической задаче, либо ограничены той измерительной методикой, которой мы располагаем; она может быть недостаточно чувствительна и недостаточно точна, или вообще изучаемое явление может не поддаваться измерениям.

Поэтому успех решения ряда проблем определяется расширением наших методических возможностей. В основном успех тут определяется изобретением новых методов наблюдения, изобретением измерительной аппаратуры, работающей на новых принципах, и, наконец, изобретением методов теоретических и математических обобщений научного опыта.

Все эти изобретения можно рассматривать как своего рода научные открытия; крупнейшие из них делаются так же неожиданно и так же непредвиденно, как и научные открытия, и так же являются проявлениями человеческого гения. Большие методические изобретения, так же как и научные открытия, могут привести к созданию целой научной области и к решению основных задач, стоящих перед наукой уже много времени. Как пример из прошлого можно указать на изобретение Ньютоном дифференциального исчисления или изобретение Гюйгенсом маятника часов.

Одним из таких крупнейших современных методических изобретений, которое сильно продвинуло ряд областей, является создание электронных кибернетических машин. Происходящее сейчас бурное развитие кибернетических машин дает возможность решения ряда задач большой сложности, которые еще недавно лежали за пределами доступности (быстрые и точные расчеты траекторий полетов космических кораблей,

расчеты структур атомов, молекул, кристаллических решеток и ряд других проблем). Несомненно, электронно-кибернетические машины будут в ближайшем будущем интенсивно развиваться и с их помощью будет решено 419

еще много важных задач, которые лежали до сих пор за пределами досягаемости.

Сейчас я хочу обратить внимание на несколько важнейших задач, которые необходимо решить и иметь для них строгое теоретическое решение; пока они столь сложны, что их приходится решать грубым эмпирическим или полуэмпирическим путем. Нужно помнить, что эмпиризм как метод научного искания еще далеко не изжил себя.

Применение эмпиризма в этих исследованиях обычно связано с трудоемким накоплением больших количеств опытных данных и с большой сложностью их систематизации и использования. Разберем как пример такого рода эмпирических исследований, которые часто производятся теперь, проблему создания вещества с определенными механическими свойствами — прочностью, жароустойчивостью, пластичностью и пр. Хорошо известно, что в области достижений предельных показателей в авиации, космонавтике, турбостроении прочность и жаропрочность материалов являются обычно главным ограничивающим фактором. Достаточно было бы поднять жаропрочность сплава на несколько сот градусов и предельную прочность — на 20—30%, и это дало бы возможность решить ряд новых технических задач. Однако, несмотря на то, что все механические свойства металлов сейчас хорошо и быстро измеряются, количественной теории, связывающей эти свойства вещества с его химическим составом и физической структурой, пока нет, хотя природа сил между атомами хорошо известна. Математическая задача столь сложна, что даже не может быть сформулирована. Поэтому основной путь искания здесь — эмпиризм.

Но нетрудно показать, что даже эмпиризм не может полностью решить эту задачу. Нам известно около 100 элементов, которые образуют сплавы. Положим, что описание свойств одного металла или сплава, его прочности, жаропрочности, упругости, электропроводности и т. д. занимает одну страницу. Для описания свойств самих элементов потребуется 100 страниц, для описания свойств бинарных сплавов потребуется уже 10 тысяч страниц. Сплавы тройных систем уже займут миллион страниц. Легко видеть, что исследование и систематическое описание тройных сплавов является предельной возможностью. Таким образом, эмпирический

411

метод изучения имеет свои естественные пределы. Изобретение кибернетических машин табуляторного типа, конечно, и тут тоже расширит наши возможности, но все же нужно признать, что проблема научного создания новых сплавов с заданными свойствами более чем из трех компонентов не разрешена. Но известно, что на практике уже используются сплавы из четырех компонентов или даже больше и такими сплавами уже были решены важные задачи.

Будет ли это всегда так? Я не думаю. Такие многокомпонентные сплавы, может быть, были найдены случайно, но вероятнее — интуитивным «нюхом» талантливого ученого, который, как искусный повар, умеет готовить вкуснее других. Если есть интуиция, значит, есть и закономерность. Задача науки — выявить эти закономерности, но метод решения таких сложных проблем до сих пор не найден, и это, несомненно, одна из проблем будущего.

Существует еще одна, менее известная проблема, которая в ближайшем будущем представит большой интерес, — она пока что тоже решается эмпирически. Это — создание сверхпроводящего сплава с критической температурой, близкой к комнатной, и с достаточно высоким критическим магнитным полем, т. е. полем, которое разрушает эту сверхпроводимость. Как известно, в сверхпроводниках электрический ток течет без потерь, поэтому уже сейчас сверхпроводимостью начинают широко пользоваться для создания высокочастотных радиоколебательных систем, для катушек, создающих сильное магнитное поле, для конструирования малогабаритных запоминающих устройств в электронных счетно-решающих машинах.

Но главное затруднение практического использования сверхпроводимости в том, что все эти устройства работают при очень низкой температуре жидкого гелия (4,2 К). Поэтому наибольшее практическое значение имело бы открытие материала, обладающего сверхпроводимостью при комнатной температуре. Это вызвало бы революцию в современной электротехнике, так как позволило бы вести передачу электроэнергии без потерь. Но пока что теория указывает, что сверхпроводимость в чистом металле не может существовать при

температуре выше температуры Дебая, и, следовательно, в настоящее время открытие такого материала мож-
412

но ждать только в сплавах, теория свойств сверхпроводимости которых полностью еще не понята. Тут тоже
встает проблема эмпирического изучения многокомпонентного соединения, о котором я уже говорил.

Одна из крупнейших задач, стоящих перед физикой твердого тела,— это создание полимеров с заданными
свойствами. Полимеры в живой природе всегда являются основным «строительным материалом», который
выполняет всевозможные функции. Наш век не только будет веком использования атомной энергии, но и ве-
ком, когда человечество научится готовить полимеры, а также широко использовать их в жизни как
основной «строительный материал».

Разнообразие полимеров беспредельно, их может быть даже больше, чем сплавов. Механические, элект-
рические, магнитные свойства полимеров так же разнообразны. Перед наукой будет стоять задача создания
полимеров с заданными свойствами. Тут эмпиризм будет недостаточно эффективным, как и в примере со
сплавами. Возможно, что из-за большой регулярности в строении полимеров тут скорее, чем для сплавов,
удастся найти теоретическое обобщение, которое избавит исследовательские работы по отысканию полимеров
с заданными свойствами от эмпирического пути.

Успехи в изобретении новых методов экспериментальных исследований явлений природы за последние годы
исключительно крупны. По-видимому, это надо связывать с бурным развитием теоретической и про-
мышленной электроники и теми новыми возможностями, которые открыло развитие ядерной промышленности
и физики.

Интересно отметить, что сейчас изменение частоты измеряется с точностью до 16-го знака (используется
мёсбауэр-эффект), а время — с точностью до 11-го знака (с помощью молекулярных генераторов). Используя
электронные пучки и различные методы увеличения, можно видеть молекулы и т. д. Такие достижения в изо-
бретении новых методов наблюдения и измерения сейчас идут непрерывным потоком. Нет никаких признаков,
что в будущем развитие наших экспериментальных возможностей прекратится. Какие будут следующие до-
стижения в изобретении методов наблюдения или измерения, так же трудно предвидеть, как и указать новые
открытия. Но все же мне хотелось бы - указать одну

413

область измерения, где люди отстают от природы и где следует в ближайшем будущем ждать новых изобре-
тений.

Надо отметить, что сейчас физика располагает приборами во много раз чувствительнее наших органов чувств.
Микрофон слышит лучше, чем человеческое ухо, фотоэлемент видит лучше и большую часть спектра, чем глаз.
Сейсмограф более чувствителен, чем наше осязание, и, конечно, температуру по сравнению с термометром
человек совсем плохо определяет.

Только одно чувство — обоняние, т. е. определение и обнаружение небольших количеств примесей органи-
ческого вещества, у животного более совершенно, чем у существующих приборов.

Или возьмем дегустаторов. Им, например, был крупнейший физик Ланжевен. Я хорошо помню — на меня это
произвело большое впечатление,— как однажды перед обедом на конгрессе в Цюрихе в 1925 г. Ланжевен
попробовал вино и сразу правильно определил по вкусу не только марку вина, но и год урожая. Он был приз-
нанным дегустатором и очень гордился этим, может быть, даже больше, чем своими успехами в физике. Но нет
таких физических приборов, которые могли бы даже приблизительно проделать то же, что и он.

Самым чувствительным методом для определения примесей неорганического вещества сейчас считается
радиоактивационный анализ. Таким путем можно обнаружить примеси в относительном количестве 10^{-8} — 10^{-9} .
Если сравнить его с обонянием собаки, то окажется, что она обнаруживает гораздо меньшее количество
примесей и при этом ее обоняние может их идентифицировать. Спрашивается, почему человек не создал еще
таких приборов, которые могли бы уловить такое ничтожное количество атомов, как это доступно обонянию
собаки?

Как известно, органы обоняния — наиболее сложные из всех органов чувств, и природа того явления, на основе
которого они функционируют, до сих пор не открыта. Таким образом, «догнать обоняние собаки» есть одна из
проблем физики будущего.

Можно упомянуть, что есть еще одна область, где

природа изобрела лучший механизм, чем человек. Это механизм памяти мозга. Этот механизм во много тысяч раз компактнее и эффективнее запоминающих устройств

414

в современных счетно-решающих машинах. Природа механизма памяти мозга нам тоже неизвестна.

Все эти проблемы — проблемы будущего, и тут физики должны отнять у природы интересные и увлекательные секреты.

Будущее биологических наук

Ряд крупных задач в области биологии, связанных с запросами агротехники, зоотехники, медицины, хорошо известен, и я на них останавливаться не буду.

В предыдущих разделах я уже указывал на некоторые из проблем биологии, которые важно решить в будущем. Это природа мускульных сокращений, передача нервными волокнами электрических сигналов, механизм памяти мозга и механизм обоняния. Уже достигнутые успехи в решении этих проблем, несомненно, обязаны происходящему сейчас проникновению физики и химии в биологию. Исследования дают полное основание предполагать, что не только эти проблемы будут описаны известными закономерностями неодушевленной природы, но что эти процессы могут быть воспроизведены искусственно и использованы на практике. Познание механизмов этих процессов не только откроет их биологическую сущность, но также обогатит физику и химию. Поэтому в будущем мы можем ждать еще более полного слияния в научных работах физики и химии с биологией.

Полное понимание очень сложных и своеобразных биологических процессов, несомненно, должно углубить наше познание неодушевленной природы. Поэтому сейчас наступает время говорить уже о благоприятном влиянии биологии на развитие физики и химии. Развитие химии полимеров и изучение их физических свойств, которое сейчас так интенсивно ведется, являются примером этого благоприятного влияния. На примере структур полимеров, используемых в природе, видно, что она является лучшим «инженером-конструктором», чем человек, и пока нам есть чему у нее поучиться. Следует отметить, что в некоторых вопросах ученые превзошли природу, создав такие процессы, которые естественно не происходят. Так, например, цепная реакция урана, используемая для получения ядерной энергии, в естественных, природных условиях не идет, Мы можем с боль-

415

шой уверенностью считать, что в ближайшем будущем решение больших биологических проблем будет определяться развитием так называемых комплексных проблем, т. е. проблем, в решении которых будут участвовать не только биологи, но и физики, и химики, и даже математики. Таким образом, развертывание крупных коллективных работ, о которых я говорил вначале, будет иметь место и при решении задач биологических наук.

Одной из самых важных и интересных комплексных проблем в области биологии, где придется участвовать физикам, химикам и математикам, является генетика. Уже широко известны те громадные успехи, которые в последние годы достигнуты в генетике. Сейчас ученые не только научились производить искусственные мутации, но начали детально понимать их физическую сущность. Это стало возможным благодаря определению строения хромосом, расшифровке того кода, которым в гене записана информация, необходимая для развития данного организма, и, наконец, пониманию самого механизма процесса размножения.

Конечно, основная прикладная задача, которую ставит перед собой генетика,— это изменять согласно запросам практики вид организма. Пока еще далеко до полного осуществления этой задачи, но пути ее решения намечаются. Существующим сейчас способом воздействия на хромосомы — облучением или воздействием химических соединений — можно производить только случайные мутации. Пока можно проводить желаемые изменения видов только самых простейших организмов — вирусов, микробов, грибов. Все эти организмы быстро размножаются, и в них число возможных мутаций уже не так велико, поэтому, разработав эффективный способ искусственного отбора, можно создать вид организма с нужными для прикладных целей свойствами. Как раз таким путем сейчас получают наиболее активные препараты антибиотиков. Облучая культуру грибов, вызывают в них мутации и отбирают те, у которых наблюдается наибольшая активность по отношению к заданной бацилле. Но, конечно, таким методом невозможно производить желаемые изменения в

сложных организмах, так же как невозможно улучшить сложный механизм случайным ударом по нему молотком.

416

Но если ученым удастся найти метод производить мутации в желаемом направлении, то, конечно, человек получит в свои руки метод изменять в больших масштабах виды организмов, несравненно более мощный, чем существующий сейчас метод селекции и гибридизации. Тут предстоит долгая поисковая работа. Нетрудно предвидеть, что умение изменять виды будет сначала достигнуто на простейших организмах и затем распространится на все более и более сложные.

Положим, что ученым в конечном счете удастся найти метод производства искусственно направленных мутаций, который изменит вид человека. Тогда возникнет интересный и весьма дискуссионный вопрос — вопрос об изменении вида у человека. Это открывает возможность менять и структуру общества аналогично тому, как описано у Олдоса Хаксли в смелой фантастической утопии «Brave New World». История культуры учит нас, что фантастическое со временем становится реальным.

Но это вопрос далекого будущего, и пока на нем вряд ли следует останавливаться. Пока интересно поставить вопрос: каковы же шансы, что в ближайшие годы будет найден метод контролировать направление мутаций? Надо сказать, что мы еще очень далеки от решения этой трудной задачи. Возможно, что изучение физических свойств синтезированных полимеров все же может открыть метод более организованного воздействия на структуру их цепочек.

Трудно сказать, как скоро это будет сделано, но, во всяком случае, задача теперь имеет конкретный характер и лежит в рамках известных нам законов физики и химии.

Нельзя не отметить, что казавшаяся наиболее сложной задача одушевленной природы — наследственность и прямое влияние на изменение вида — оказалась понятой раньше других ее свойств, и, возможно, наследственность первая будет контролироваться человеком.

В заключение я хочу поставить фундаментальный вопрос, связанный с изучением живой природы, который предстоит решить в будущем.

Вопрос заключается в следующем: являются ли современные познания закономерностей неодушевленной природы достаточными, чтобы описать все явления, характерные для живого мира?

417

Мы знаем, что большинство явлений описывается существующими закономерностями, но все же мне думается, что одно из основных свойств живой природы — *воспроизводить себя* — может явиться проявлением некоторых сил в природе, пока еще неизвестных и необъяснимых известными закономерностями взаимодействия между элементарными частицами. У нас нет никаких данных утверждать, что в цепочках достаточной длины из атомов с их чередованием по определенным правилам не может появиться новое свойство, аналогичное свойству самовоспроизводства в живой природе. В отдельных атомах и несложных молекулах такое свойство может быть незаметным. Что такая возможность не исключается, мы можем проиллюстрировать следующим примером.

Известно, что только при больших скоплениях элементарных частиц между ними начинает играть роль сила тяготения. Ведь сила тяготения не учитывается при описании квантовых и электрических взаимодействий атомов и проявляется в природе только в больших массах. Аналогично и другие, пока еще неизвестные свойства взаимодействия атомов могут проявиться только при их упорядоченном размещении.

Задача науки состоит в том, чтобы на эксперименте выявить эти закономерности самовоспроизводства и найти те параметры, которыми будет возможно количественно описать эти закономерности. Если это удастся сделать, то будут открыты новые свойства природы вещества, ускользнувшие от нас при изучении неодушевленного мира.

Но подхода к решению этой задачи еще даже не намечается, и решение ее мы можем только отнести к далекому будущему.

Будущее и общественные науки

Есть еще одна важная область науки, которой я коснусь только вкратце, — это наука о человеческом обществе. Эта область общественных наук характерна тем, что в ней для выявления закономерностей существуют свои

собственные теоретические методы изучения и обобщения, которые отличаются от принятых в естественных науках. Благодаря этому между естественными и общественными науками существует четкая граница, ко-

418

торая разделяет их на две самостоятельные и обособленные области знания.

Общепризнанно, что базисная наука о законах развития и построения человеческого общества — исторический материализм — была основана Марксом. Он первый выявил такие основные параметры, как классовая структура, производительность труда и т. д., которыми можно характеризовать структуру общества и которыми определяются законы его развития. Маркс, Энгельс, Ленин и их последователи создали научную базу для построения нового вида структуры общества — коммунистического. К области общественных наук следует отнести и науку о высшей нервной деятельности человека. Основателями этой базисной науки считаются И. П. Павлов и Зигмунд Фрейд. Они первые положили эксперимент в основу изучения процессов мышления. Ими были найдены закономерности восприятия человеком внешней среды, возникновения условных рефлексов, влияния подсознания на деятельность человека.

Результатами этих исследований и также исследований их учеников уже сейчас широко пользуются в педагогике, психиатрии, судебной практике, а в капиталистических странах — и в целях рекламы и пропаганды. По мере развития науки о высшей нервной деятельности, несомненно, возникнут еще более тесные связи ее с общественными науками.

Естественно предположить: аналогично тому, как успешное развитие биологических наук должно основываться на физике и химии, так и развитие науки о законах, лежащих в основе организации общества, должно основываться на науке о высшей нервной деятельности человека. Только на этой научной базе можно создать организации для правильного воспитания и обучения людей. Только на этой научной базе можно искать правильные формы организации труда и досуга человека. И главное, только на научной базе можно создать здоровую и эффективную структуру общества. Государственную машину мы должны научиться строить на основе науки об обществе, и ее нужно научиться рассчитывать, так же как сейчас инженеры рассчитывают электрическую машину: она должна быть просто построена и действовать с высоким к. п. д. Значение для человечества развития общественных наук совершенно очевидно.

419

Естественно поставить вопрос: почему даже в наше время, которое многими называется временем научно-технической революции, общественные науки так слабо развиваются? Мне думается, что наиболее естественное объяснение задержки развития общественных наук заключается, как всегда в таких случаях, в существующих сейчас неблагоприятных условиях в капиталистических странах.

Я позволю себе пояснить эту мысль несколько прямолинейной аналогией, которая объясняет то состояние, в котором сейчас находятся общественные науки.

Мне думается, что создавшиеся сейчас внешние условия для общественных наук несколько подобны тем, в которых естественные науки были в средние века. Хорошо известно, что главным тормозом развития естественных наук в то время было схоластическое окружение. В те времена церковь брала на себя монополию схоластически-догматического толкования всех явлений природы, решительно отметая все, что хоть в малейшей мере противоречило каноническим писаниям. Этим и тормозилось развитие естественных наук. Только триста лет тому назад естественные науки вырвались из-под опеки церкви и стали быстро развиваться, и это развитие идет нарастающими темпами по сей день. Сейчас существует большое разнообразие государственных структур, которые признают за истину только то в общественных науках, что доказывает целесообразность этих структур. Естественно, что при таких условиях развитие общественных наук сильно стеснено.

Возьмем в качестве иллюстрации обучение молодежи общественным наукам в капиталистических странах.

Там в средней школе, как и всюду, учат одним и тем же законам механики Ньютона, но там в школе не учат молодежь историческому материализму и законам, открытым Марксом, на основании которых функционирует капиталистическое общество. Ведь законы развития общества тоже везде должны быть одни и те же. Законы Маркса так же универсальны, как и законы Ньютона. Почему же в общественных науках не достигнуто признание единых законов?

Ответ ясен: к науке об обществе нет объективного подхода. До тех пор, пока не удастся его создать, общественные науки будут развиваться с большим трудом. Этим, мне кажется, объясняется тот разительный

420

контраст, который сейчас существует в масштабах развития естественных и социальных наук.

Мне думается, что не за горами то время, когда люди на всей планете придут к необходимости признания единых законов развития общества и на такой основе установят у себя наиболее эффективный и справедливый общественный строй.

Хорошо известно, что те технические возможности, которые вложены сейчас в руки человечеству современной наукой, приводят к таким острым противоречиям между государствами, что перед лицом возможной гибели народы всего мира будут приходить к выводу о необходимости научно обоснованного и эффективного общественного строя, свободного от войн.

Нетрудно предвидеть, что развитие борьбы за мир и признание опасности создавшегося тупика, в который попали взаимоотношения между различными общественными системами, в ближайшем будущем неизбежно должны привести к интенсивному развитию общественных наук.

ГЛОБАЛЬНЫЕ НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ БЛИЖАЙШЕГО БУДУЩЕГО

Выступление на встрече ученых в редакции журнала «Вопросы философии»

1972

Основное, что делает обсуждаемые здесь проблемы столь важными,— это их глобальность. В нашем столетии решение ряда проблем не может больше ограничиваться масштабами одной страны, их приходится решать в масштабе всей нашей планеты. Такое восприятие планетарного характера отношения человека с природой впервые возникло в связи с появлением атомной бомбы и с угрозой мировой ядерной войны. Общеизвестно, что такая война, где бы она ни возникла, в несколько часов могла бы отравить весь земной шар и прекратить жизнь человека. Эта угроза и заставляет людей отказываться от применения ядерного оружия.

До сих пор еще встречаются люди, которые полагают, что если человек укроется в убежище, снабженном фильтрами, оберегающими его от радиоактивного пора-

421

жения, то тогда он останется жив. Однако это — заблуждение, так как забывают, что человек может жить только в условиях равновесия с природой. Но очевидно, что равновесия не может существовать, когда человек окажется живым, а окружающая его природа во время мировой атомной войны будет уничтожена радиоактивным отравлением. Выйдя из своего убежища, человек не сможет существовать, ему, например, не будет хватать протеинов, поскольку на Земле вся крупная фауна погибнет и общее равновесие в природе будет нарушено.

Сейчас определяются три основных аспекта глобальных проблем: 1) технико-экономический, связанный с истощением природных ресурсов земного шара; 2) экологический, связанный с биологическим равновесием человека с живой природой при глобальном загрязнении окружающей среды; 3) социально-политический, поскольку эти проблемы связаны с необходимостью их решения в масштабе всего человечества.

При изучении этих глобальных проблем уже давно было обнаружено, что обычные количественные показатели, характеризующие динамику этих процессов, описываются геометрической прогрессией и математически по времени выражаются экспоненциальной функцией. Характерной чертой таких процессов является то, что в конечном итоге они приводят к такому ускорению в развитии процесса, что это приобретает характер взрыва. Обычный пример такого процесса — это взрыв атомной бомбы. В процессе ядерной реакции от каждого нейтрона рождается больше одного нейтрона, число нейтронов экспоненциально все быстрее нарастает, нарастает энергия, связанная с ними, и в итоге происходит взрыв.

Такие же экспоненциальные закономерности имеют место при размножении людей, при демографических процессах. Сейчас население на земном шаре определяется в 3,7 миллиарда человек. Если оно будет продолжать возрастать теми же темпами (в среднем на 2% в год), как в этом столетии, то через 700 лет наша планета будет населена столь плотно, что на каждый квадратный метр всей поверхности земного шара будет приходиться по одному человеку. Конечно, это невозможно, и процесс возрастания размножения людей должен еще задолго до этого оборваться. Когда и при каких факторах это произойдет и во что при этом превратится

422

цивилизация, является важнейшей глобальной проблемой ближайшего будущего.

Эта сложная проблема начинает широко количественно изучаться с привлечением современных глобальных статистических данных; это стало возможным благодаря применению электронно-вычислительных машин. В последние годы наиболее интересные и убедительные результаты были получены в работах, возглавляемых Дж. У. Форрестером [1] и супругами Д. Х. и Д. Л. Медоуз [2]. В этих работах показано, что «взрывной характер» экологических процессов определяется не только экспоненциальным законом процесса размножения людей. Ряд других процессов — рост потребления электроэнергии, минерального сырья, заражение окружающей среды — тоже растет экспоненциально и также может в самом недалеком будущем привести к глобальному кризису, который по своей внезапности будет иметь характер взрыва.

Одна из самых главных глобальных проблем связана с энергетикой, поскольку использование людьми природных энергетических ресурсов является главным фактором, определяющим уровень современной цивилизации и благосостояния человечества. Сейчас наиболее крупным источником сырья в энергетике является уголь, и если его потребление остановится на нынешнем уровне, то запасов угля будет достаточно примерно на тысячу лет. Если даже человечество не будет расти, но потребление энергии на душу населения будет расти теми же темпами, как за последние сто лет, то запасов угля хватит только на 100—150 лет. Еще более близкий кризис можно предвидеть по другим видам сырья. Например, серебра хватит в пределах 13—40 лет, свинца — 20—60 лет и т. д. (с учетом использования в пятикратном масштабе новых, пока еще не найденных природных запасов) [3].

Сейчас уже известно, что наука может дать выход из предстоящего кризиса. Самая главная для человечества энергетическая проблема может быть решена путем использования управляемых термоядерных процессов. Источником энергии для них является дейтерий — тяжелый изотоп водорода, его запас в океане можно считать неограниченным.

Глобальный кризис, связанный с истощением сырьевых ресурсов, наука может предотвратить путем пере-

423

вода промышленного производства на так называемые «замкнутые процессы», как это имеет место в природе, где ничего не выбрасывается, поскольку все снова потребляется. С научной точки зрения замкнутые процессы вполне осуществимы, хотя и значительно сложнее. При осуществлении замкнутых процессов главной задачей будет необходимость увеличения энергетических затрат. Поэтому освоение этих процессов в глобальном масштабе станет возможным только тогда, когда люди будут располагать источником энергии практически неограниченной мощности, каким сейчас может быть только термоядерная энергия.

Истощение сырьевых ресурсов части важных веществ грозит уже нашему поколению. И поэтому решение вопросов, связанных с технико-экономическим аспектом проблемы «человек и природа», нужно считать срочным. Но здесь сразу встает и социально-политический аспект: в силу глобального характера решение этих вопросов невозможно в национальном масштабе, оно реально лишь при широком международном сотрудничестве на основе принципов мирного сосуществования государств с различным общественным строем.

Следующая проблема — экологическая — возникает в результате нарушения в природе равновесия вследствие загрязнения окружающей среды в том же глобальном масштабе. Хотя по своей значимости эта проблема не столь серьезна, как истощение сырьевых ресурсов, но она более наглядна, более остро ощущается людьми и поэтому сейчас находится в центре внимания как в отдельных странах, так и в ООН. Основная трудность при решении этой проблемы заключается в том, что глобальные масштабы технических процессов при современном уровне цивилизации стали так изменять окружающую нас среду — воздух, воду и почву, — что существовавшее до сих пор в природе биологическое равновесие уже не может сохраняться, и это начинает вести к гибели фауны и флоры, которые необходимы для существования людей.

В технических процессах, необходимых для современной цивилизации, уже нельзя обойтись без нарушения существовавших до сих пор экологических процессов, и сейчас нужны другие виды биологического равновесия в природе. Найти нужные условия для этих процессов и при этом так, чтобы природа могла развиваться

424

в согласии с запросами человеческой культуры, — это также одна из основных задач, которую предстоит решить экологии.

Если до сих пор экология изучала существующие процессы равновесия в природе, то теперь ей придется мекать новые условия равновесия. Как пример этого поиска можно рассмотреть проблему Байкала. Промышленности необходима пресная вода. В Байкале ее колоссальное количество. Это большая ценность. Но из Байкала не следует просто выкачивать эту воду, так как озеро ценно не тем, что в нем много чистой воды, но тем, что оно является биофильтром колоссальной мощности, производящим чистую воду. Вода поступает в озеро из впадающих в него рек гораздо более грязная, чем затем она в нем становится и вытекает из него. Эта очистка обуславливается биологическими процессами в Байкале. Если в Байкал поступала бы чистая, как бы

дистиллированная вода, жизнь в нем прекратилась бы и Байкал перестал бы перерабатывать поступающую в него загрязненную воду.

Для нас промышленное значение Байкала в том, что он является мощным очистителем воды, и наша забота о Байкале состоит в том, чтобы сохранить его способность очищать воду. Поэтому подход «не трогайте Байкал» — это неправильный подход. Байкал надо эксплуатировать, но так, чтобы не нарушать в нем жизни и сохранять его очистительные свойства. Для этого нужно знать, чем и в какой мере можно загрязнять Байкал, чтобы он мог перерабатывать поступающие загрязнения и очищать воду. Таким образом, задача использования Байкала ставит перед учеными-биологами вполне четкий вопрос об определении экологических процессов, которые идут в его водах при поступлении в них отходов производств. Перед учеными-химиками стоит задача разработки таких технологических процессов, отходы от которых соответствовали бы требованиям, поставленным биологами, т. е. чтобы отходы могли перерабатываться Байкалом.

Например, известно, что эффективность биологических процессов в воде в значительной мере определяется количеством растворенного в ней кислорода. Поэтому в тех районах озера, куда поступает загрязнение, интенсивность биологических процессов можно было бы повысить, насыщая воду кислородом, продувая воздух, как

425

это обычно делают в аквариумах. Современная техника располагает сейчас возможностями не только в глобальном масштабе прекращать жизнь, но и стимулировать ее. Природу следует лечить от заболеваний, также как мы лечим людей. При правильном решении вопроса вполне можно было бы ожидать, что эффективность очистительной мощности Байкала может даже возрасти.

Задача организации этих работ лежит на Госплане и Академии наук СССР. В условиях социалистического хозяйства государство может целиком обеспечить согласованную работу ученых и промышленности, необходимую для правильной эксплуатации вод Байкала.

Ярким примером того, что происходит с озерами при неправильном использовании их вод и без учета происходящих в них биологических процессов, являются Великие озера США и Канады. Отходами производств, использующих воды этих озер, они были загрязнены до такой степени, что вся жизнь в этих озерах прекратилась и вода их для ряда производств уже не годится. Поэтому сейчас правительством США принято решение восстановить нормальную жизнь в этих озерах, но для этого надо полностью реорганизовать методы использования воды так, чтобы создать тот экологический процесс, который нужен, чтобы воскресить жизнь в озерах. Для этого на ближайшие три года правительство США ассигнует сумму в 5 миллиардов долларов. Считается, однако, что этой суммы недостаточно, чтобы полностью возродить Великие озера. Ряд экспертов утверждает, что для этого потребуется сумма до 25 миллиардов долларов.

Экология, несомненно, должна стать сейчас одной из центральных биологических наук. Ее основная задача — не только изучение существующих сейчас в природе биологических равновесий, но, главное, исследование тех жизнеспособных равновесий, которые могут существовать при использовании природы в современных промышленных процессах, а также, конечно, изучение равновесных процессов, возникающих при широком употреблении в сельском хозяйстве различных химикалий. Все эти процессы воздействия человека на природу достигают сейчас глобальных масштабов, и, поскольку их развитие следует экспоненциальному закону, отсутствие контроля над ними может привести к взрыву,

426

Третий аспект глобальных проблем — это создание социальных условий, которые сделали бы возможным проведение в жизнь путей развития техники и промышленности на научной основе, обеспечивающей уравновешенное развитие цивилизации без риска катастрофы взрывного характера.

Для решения первых двух указанных вначале вопросов мы можем, как было показано, четко спланировать научные проблемы, которые нам нужно решить в областях энергетики, технологии и экологии, чтобы предотвратить грозящую катастрофу, связанную с истощением сырья и загрязнением окружающей среды.

Если есть все основания считать, что наука справится с первыми двумя задачами, то создание и внедрение соответствующих мероприятий в глобальном масштабе является социальной проблемой; решение ее пока еще находится в зачаточном состоянии.

Сейчас начинают вырисовываться основные трудности, связанные с решением этих социальных проблем. Поскольку их решение необходимо приведет к мероприятиям в интернациональном масштабе, они могут вступить в противоречие с национальными интересами отдельных стран.

Возьмем простой пример. Рядом существуют две страны. Одна из них производит целлюлозу, не загрязняя воду, в другой стране ее производство загрязняет воду. При этом стране, которая не загрязняет воду, бумага будет обходиться дороже, чем другой стране. Промышленность одной страны будет заражать океан, другой — нет. Ясно, что обеспечение чистоты воды в океане нужно большому количеству прибрежных стран и чистота воды есть проблема интернациональная. Возникает, следовательно, задача — побудить ту страну, которая делает бумагу, загрязняя воду, освоить более дорогой процесс, хотя это будет противоречить ее национальным интересам, поскольку при этом она может потерять рынок и ей к тому же придется затратить капитал на более дорогое оборудование.

Еще не найдены такие эффективные методы воздействия на страны, которые могли бы не позволить загрязнять окружающую среду. Это видно на примере тех стран, которые сейчас в своих узконациональных интересах производят ядерные взрывы в атмосфере, отравляя ее радиоактивностью, Поэтому, я полагаю, в бли-

427

жайшем будущем людям придется, видимо, создать авторитетную международную организацию для контроля глобальных проблем в международном масштабе. Сейчас такие глобальные социальные проблемы начинают широко обсуждаться. Одна из сторон этого обсуждения начинает довольно четко выявляться. Даже на Западе ряд социологов-экономистов считает, что решение технико-экономических проблем в глобальном масштабе может быть осуществлено только на основе социалистической организации промышленности. Так, например, высказался крупный голландский экономист Сикко Мансхолт [4].

Есть и другие направления, представители которых утверждают, например, что и капиталистические организации до сих пор находили в себе скрытые возможности авторегулирования путем установления цен и налогов, и сейчас таким же путем смогут быть разрешены и глобальные проблемы. Это, например, утверждает профессор экономики Гарвардского университета Карл Кейзен [5]. Пока все эти рассуждения лишены конкретности.

Неоспоримо, что надежная основа для решения глобальных проблем обеспечивается социалистической организацией народного хозяйства. Уже сейчас видно, что решение экологических проблем в больших масштабах вполне осуществимо в нашей стране. Поэтому пример использования вод Байкала приобретает интернациональное значение. На нем мы смогли бы показать, что можем эксплуатировать богатства Байкала, не нарушая равновесия в природе, чего не сумели сделать капиталистические страны. Таким образом, и здесь мы доказали бы на опыте, что, в противоположность капитализму, социализм по своему существу более приспособлен для решения такого рода экологических проблем. Вот почему проблема Байкала сейчас привлекает большое внимание общественности.

Мне думается, что на Байкал следует направить наши лучшие биологические и технические силы, чтобы и технологи, и биологи совместно занялись экологическими процессами жизни этого озера.

Я убежден в том, что необходимость решения глобальных проблем в интернациональном масштабе благоприятно повлияет на решение проблемы мирного сосуществования и разоружения,

428

Характерной чертой расходов на вооружение является связанное с ним поглощение во флоте, авиации, механизированных войсках большого количества энергетических ресурсов. Известно, что производство военной техники связано с потреблением в большом количестве ценных материалов; при этом ничего не производится для благосостояния людей. При производстве и использовании вооружения нет возможности организовать «замкнутый» процесс, который необходим для экономического равновесия.

Когда в глобальном масштабе начнет возникать недостаток в материалах и в энергетических ресурсах и это начнет катастрофически влиять на уровень благосостояния людей, то перед человечеством не останется другого выбора, как начать сокращать вооружение, поскольку риск гибели от агрессии будет менее реален, чем опасность гибели от недостатка материальных ресурсов. К тому же, поскольку решение глобальных проблем должно происходить при тесном международном сотрудничестве, люди начнут чувствовать, что они живут в общей квартире и что у всего человечества есть только один общий враг: это наступающий глобальный кризис, с которым, позабыв все распри, надо начинать дружно бороться.

Сейчас интерес к глобальным проблемам очень быстро растет, и в процессе их обсуждения, конечно, неизбежны многие противоречия в оценке как их масштабности, так и предлагаемых методов решения. Но, несмотря на это, все высказывающиеся по этому вопросу сходятся на одном: эти глобальные проблемы являются для человечества сейчас чрезвычайно важными, и на их решение должны быть направлены основные культурные силы всех стран.

К тому же на решение этих проблем у человечества осталось не так уже много времени, во всяком случае, меньше столетия, в течение которого возможно предотвратить экологический кризис. Чтобы человечество со всей необходимой энергией принялось за решение этих проблем, первым долгом люди в самых широких слоях должны осознать значимость и последствия глобального кризиса. Объяснить это людям могут ученые, которые первыми количественно оценили значение предстоящего кризиса и могут указать, по какому пути должно идти

429

развитие цивилизации, чтобы предотвратить грозящие ей испытания.

Поэтому долг ученых во всех областях как естественных, так и гуманитарных наук — организовывать общественное самосознание людей, чтобы они действовали сообща в решении экологических проблем на всем нашем земном шаре, размеры которого, как теперь стало ясно, весьма ограничены.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Forrester J. W.*, *World Dynamics*. — Cambridge, 1971.
2. *Meadows D. H., Meadows D. L., Randers J., Behrens W. W.*, III. *The Limits to Growth*. — N. Y.: University Books, 1972.
3. *Heilbroner R. L.* *Growth and Survival*. — *Foreign Affairs*, 1972, October, p. 139.
4. *Mansholt S. et al.* *Ecologie et revolution*. — *Nouvel Observateur*, 1972, № 397, Suppl. spec. 11.
5. *Kaysen C.* *The Computer that Printed Out W*O*L*F**. — *Foreign Affairs*, 1972, July, p. 660.

ГЛОБАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ЭНЕРГИЯ

Лекция, прочитанная в Стокгольмском университете 1976

Глобальные проблемы — это проблемы, которые нужно решать в масштабах всего земного шара. Еще в древние времена такие проблемы описывали в художественных и религиозных книгах, это были, например, страшный суд, всемирный потоп.

Сейчас глобальные проблемы стали реальны, и необходимость их решения является крупнейшей социальной и научной задачей всего человечества. Отыскать и обосновать эти решения должны ученые, а осуществить их в международном масштабе должны государственные деятели. Поэтому сейчас изучение этих проблем все больше и больше становится в центре деятельности как ученых, так и общественных деятелей.

Причина возникновения глобальных проблем хорошо известна: человек отличается от животного в основном тем, что животное приспосабливается к природе, а человек ее переделывает и приспособливает к своим потребностям. В наш век, благодаря увеличению численности людей на земном шаре и с ростом материальной

430

культуры, стали осуществляться технические и энергетические процессы, которые начали изменять природу всего земного шара. Сейчас становится очевидным, что некоторые из этих изменений настолько значительны, что представляют опасность для благополучного существования всего человечества.

Впервые это было осознано людьми, когда стала возможна ядерная война. Теперь уже общепризнанно, что при возникновении ядерной войны существующих уже сейчас запасов атомных бомб достаточно, чтобы истребить значительную часть народонаселения, и, главное, так отравить радиоактивностью земной шар, что оставшая часть населения либо погибнет, либо принуждена будет вести существование, подобное существованию доисторического человека.

Пока люди, управляющие государством, это осознают и руководствуются разумом, а не эмоциями, возможность возникновения ядерной войны будет находиться под контролем.

Перед тем, как перейти к анализу некоторых конкретных глобальных проблем, я думаю, полезно указать на одну их общую черту, на которую обычно недостаточно обращают внимания.

Это общее свойство заключается в том, что явления, связанные с глобальными проблемами, обычно развиваются по закону, определяемому так называемой геометрической прогрессией, или, иначе говоря,— экспоненциально. По отношению к росту населения это было впервые отмечено еще два века назад.

Закон геометрического роста таит в себе одно, скорее, неожиданное свойство — он неизменно ведет к явлению, которое принято называть взрывом.

Это было замечено еще в древние времена. В одной восточной сказке рассказывается о том, как какому-то царю какой-то мудрец оказал значительную услугу. Желая отблагодарить мудреца, царь предложил ему самому выбрать вознаграждение. Мудрец попросил заплатить ему зерном. На первый квадрат шахматной доски он попросил положить одно зерно, на второй квадрат в два раза больше — два зерна, на третий — четыре зерна и так, по геометрической прогрессии, до 64-го квадрата. В предании говорится, что царя поразила скромность мудреца, но когда стали осуществлять рас-

431

плату, то оказалось, что она превосходила все средства царства. Эта задача часто дается у нас в старших классах школы, и вычисления дают, что суммарно вес зерен будет более ста миллиардов тонн; сейчас это примерно десятикратный годовой мировой сбор зерна!

Но есть еще одно свойство процессов, развивающихся по геометрической прогрессии. Нетрудно показать, что не только количество, но и скорость нарастания количества тоже следует геометрической прогрессии. Это приводит к тому, что за достаточный промежуток времени эта скорость может стать также как угодно велика. Быстро развивающийся процесс принято называть взрывом.

Это объясняет, почему сейчас мы говорим о демографическом взрыве, хотя прирост населения на земном шаре в нашем столетии остается в среднем около 2 % в год. Интересно, что мы также говорим о научно-технической революции, как будто необычайно бурный рост науки начал сейчас происходить внезапно. На самом деле этого нет, и это можно показать следующим образом.

На рисунке на с. 210 [1] нанесены по горизонтальной оси годы, а по вертикальной оси, в логарифмической шкале, число издаваемых всюду научных журналов. Как видно, за последние 300 лет, т. е. после того, как благодаря книгопечатанию и возникновению почтовой связи наука начала развиваться в международном масштабе, число журналов росло по геометрической прогрессии и их число неизменно удваивается каждые 14 лет. Конечно, естественно считать, что количество публикуемых научных работ пропорционально деятельности ученых; тогда рост количества журналов характеризует рост науки.

Как видно из кривой на этом рисунке, закономерность экспоненциального роста не нарушается и по сей день, и математически ни о каком взрыве говорить не приходится. Очевидно, процесс, развивающийся по геометрической прогрессии, должен дойти до предела и прекратиться. Приближение к этому пределу будет иметь характер взрыва.

Приведу еще один совсем близкий нам пример явления, развивающегося по геометрической прогрессии до определенного предела,— это инфекционные болезни. В организм человека попадает инфекция; положим, это

432

микроб, который размножается делением каждый час. Число микробов в организме человека начинает расти — так же, как число зерен на квадратах шахматной доски. Нетрудно подсчитать, что за три дня число микробов достигнет астрономической цифры 10^{21} , что невозможно, так как вес микробов превысил бы вес человека. Конечно, до этого процесс должен прекратиться, и всем хорошо известно, как это происходит при заболевании. Когда концентрация микробов достигнет некоторой величины, человек чувствует себя больным, и это происходит внезапно, как взрыв. Дальше процесс может прекратиться тремя возможными путями: либо в организме человека прекращается размножение микробов и человек выздоравливает, либо микробы продолжают размножаться и человек гибнет вместе с микробами. Наконец, имеется еще особое решение — это равновесие, когда человеческий организм уничтожает столько микробов, сколько их возникает. Тогда болезнь переходит в хроническое состояние.

Инфекционное заболевание, которое развивается по геометрической прогрессии, во многом аналогично тем глобальным процессам, которые начали происходить на земном шаре. Мы сейчас внезапно почувствовали себя больными, и, чтобы не погибнуть, пора подумать, как нам лечиться. Но для этого, конечно, надо понять природу нашего заболевания.

Конечно, одна из главных глобальных проблем — это непрекращающийся экспоненциальный рост населения земного шара (особенно сильный в некоторых странах). Этот рост рано или поздно должен прекратиться хотя бы потому, что не будет хватать пищи для жизни людей.

Задача, которая стоит перед людьми, заключается в том, как безболезненно прекратить этот рост, т. е. не путем смерти от голода, как это начинает иметь место сейчас.

Хорошо известно, что эта проблема сейчас широко обсуждается, но общепризнанных путей для ее разрешения пока не найдено. Мы этой проблемы касаться не будем, мы ограничимся тем, что примем, что в ближайшее столетие так или иначе число людей на земном шаре заметно не будет изменяться. Мы сосредоточимся на проблеме, как обеспечить людям достаточно высокий и постоянный уровень цивилизации жизни, и покажем, 433

что это осуществимо, только если в глобальном масштабе будет решена проблема энергетики.

Связь между уровнем цивилизованной жизни и энергообеспечением людей хорошо известна. Она наглядно иллюстрируется диаграммой на с. 97 [2], где для ряда стран по горизонтальной оси отложен валовой национальный продукт, исчисляемый в год на одного человека и выраженный в долларах, по вертикальной оси — потребление на человека энергии в пересчете на каменный уголь (в килограммах в год). Как видно из диаграммы, в пределах естественной флуктуации существует простая пропорциональность между приходящимся на человека валовым продуктом и энергоресурсами страны. Это, конечно, вполне понятно: чтобы изготовить любой предмет, нужно произвести работу и, следовательно, затратить энергию. Статистика показывает, что в наиболее развитых странах на человека приходится в среднем 10 киловатт. Это в сотни раз больше энергии, производимой мускульной работой человека.

Таким образом, рост материального благосостояния человека теснейшим образом связан с производимой энергией. Сейчас потребление энергии быстро возрастает, и не только потому, что происходит рост материального уровня жизни людей в развитых странах, но, главное, благодаря необходимости поднять уровень жизни в развивающихся странах. Кроме того, рост потребления энергии связан с необходимостью решения ряда возникающих глобальных проблем.

Как известно, сейчас начало происходить истощение запасов минерального сырья, необходимого для промышленности, главным образом металлов, таких, как серебро, олово, медь и ряда других. Это приводит к необходимости их извлечения из более бедных по содержанию руд. Уже сейчас оказывается необходимым добывать некоторые металлы (как, например, магний), растворенные в морской воде. Это требует на единицу веса больших энергозатрат.

Потребление энергии будет также возрастать при борьбе с загрязнением окружающей среды, которое уже происходит в глобальном масштабе и начинает принимать угрожающие размеры. Известно, что технологические процессы, при которых отсутствуют вредные отбросы в таких производствах, как, например, бумажное, ведут к увеличению потребления энергии, 434

' Дальнейшее повышение эффективности сельского хозяйства требует производства минеральных удобрений, в частности связывания азота воздуха, что также приводит к росту энергетических затрат.

Наконец, в будущем можно предположить, что с развитием химической технологии и возникновением возможности производства из неорганических веществ органических, включая белки, возникнет возможность обеспечить питание людей синтетическими продуктами, делая его все менее зависимым от продуктов, получаемых сейчас от сельского хозяйства. Это тоже потребует энергозатрат.

Такая роль энергетики в развитии материальной культуры человечества и объясняет, почему сейчас мировое потребление энергии растет по геометрической прогрессии и за последнее пятнадцатилетие прирост составляет пять процентов в год. Это наиболее высокий показатель роста в мировом народном хозяйстве, и всюду капиталовложения в энергетику являются доминирующими.

В силу этой ведущей роли энергетики в народном хозяйстве преодоление надвигающегося сейчас энергетического кризиса представляет для человечества наиболее крупную глобальную проблему.

Причина надвигающегося кризиса очевидна и хорошо осознана. Не менее 90 % источников энергии, которые используются сейчас, являются горючими веществами, как уголь, нефть, газ и др. В них химическая энергия была накоплена благодаря биологическим процессам в продолжение тысячелетий. Оказывается, что при современном темпе их использования их запасы на земном шаре будут исчерпаны в недалеком будущем. Конечно, определить точно, когда это произойдет, нельзя, но вполне уверенно можно считать, что это произойдет через одно-два столетия. Конечно, это время можно продлить при более экономном использовании энергии, путем улучшения технологии и прекратив затраты энергии на вооружение и пр. Это только отсрочит кризис, но его нельзя предотвратить, поскольку, согласно закону сохранения энергии, мы не можем осуществить *перпетуум мобиле*, с помощью которого мы бы получали энергию. Поэтому, если не будут найдены другие источники получения энергии взамен используемого сейчас ископаемого топлива, произойдет неизбежный спад

435

в потреблении энергии, а следовательно, и в материальном благосостоянии людей.

Путь решения этой проблемы совершенно очевиден — нужно найти источники энергии, которые бы практически не иссякали со временем. Основные из них хорошо известны — это солнечная радиация, геотермальное тепло, гидроэнергия рек и морских приливов. Но, как показывает анализ [3], они не могут в необходимом масштабе достаточно экономно решить проблему.

Главная трудность возникает оттого, что большая часть потребляемой сейчас в народном хозяйстве энергии идет на тяжелую промышленность (металлургия, машиностроение, транспорт, строительство и пр.). Чтобы удовлетворить эти потребности, необходима дешевая энергия мощностью в сотни миллионов киловатт, Она во много раз больше той энергии, которую мы называем «бытовой» и которую мы употребляем для холодильников, стиральных машин, телевизоров и пр. Если бы мы захотели удовлетворить энергетические запросы всего народного хозяйства путем использования поступающей от Солнца энергии радиации, то для того, чтобы получить мощность только в один миллион киловатт, необходимо ее снимать с площади в 10 квадратных километров.

Подсчеты показывают, что при всех предложенных методах превращения солнечной радиации в механическую или электроэнергию затраты на капиталовложения не оправдаются получаемой энергией. Это обусловлено тем, что для эффективного использования энергии ее поток должен обладать достаточной плотностью. Солнечная энергия такой плотностью не обладает.

Расчеты показывают, что геотермальное тепло из-за плохой теплопроводности земной коры также не обладает достаточной плотностью потока энергии, чтобы оно могло быть рентабельно использовано. Только в районах, где находятся вулканы, геотермальное тепло имеет достаточную плотность потока энергии, чтобы быть полезно использованным. Но таких районов мало. Например, в Италии геотермальное тепло уже много лет успешно используется, но оно составляет только 2% энергетического баланса страны.

Несколько лучше обстоит дело с использованием гидроэнергии. Практика показывает, что рентабельно электроэнергия генерируется только при больших напо-

436

рах в гористых районах. Это ограничивает масштабы использования гидроэнергии. В мировом энергетическом балансе гидроэнергия составляет сейчас не более 5%, и, по-видимому, это предел.

Еще хуже обстоит дело с использованием ветра. Плотность потока его энергии не только мала, но крайне непостоянна.

Но все же жизнь показывает, что использование энергии Солнца, ветра и воды может быть полезным людям для решения энергетических проблем масштабов бытового хозяйства, где за энергию можно платить значительно дороже. Что касается решения основной проблемы энергетики больших мощностей, то эти источники не могут помочь преодолеть надвигающийся энергетический кризис.

Если бы этот энергетический кризис начал возникать 40 лет тому назад, до открытия ядерной энергии, то человечество, несомненно, стояло бы перед катастрофой, а человеческая культура зашла бы в тупик.

Но в наше время можно с полной уверенностью утверждать, что источники ядерной энергии дают научно обоснованную возможность решить надвигающийся, энергетический кризис.

Но все же и на этом пути стоят свои трудности, которые людям еще предстоит преодолеть.

Как известно, сейчас существуют два реальных пути получения энергии больших мощностей ядерными процессами. Первый — это выделение энергии при распаде ядер тяжелых элементов, как уран, которое происходит под влиянием нейтронной бомбардировки. Этот процесс имеет характер цепной реакции и сам себя поддерживает. Он хорошо изучен, и на его основе осуществляется атомная бомба того типа, которая была сброшена на Хиросиму и Нагасаки.

В энергетических реакторах эта реакция замедляется, становится стабильной, и получаемая энергия успешно используется для рентабельного получения тепла и электроэнергии в масштабах миллионов киловатт. Запасов урана в природе при их экономном использовании в реакторах особого типа, так называемых «бридерах», может хватить на тысячелетия. К тому же некоторые ученые утверждают, что добыча урана, растворенного в морской воде практически в неограниченном количестве, уже сейчас может стать рентабельной,

437

На пути перехода всей энергетики на ядерное топливо лежит ряд общепризнанных трудностей [3], которые необходимо преодолеть.

Основная из них заключается в том, что при использовании в качестве ядерного топлива урана в реакторах происходит накопление большого количества радиоактивных веществ, и если произойдет авария и содержимое реактора вырвется наружу в окружающую среду, то возникнет отравление живых существ и, главное, конечно, людей. Ужасы отравления людей радиоактивными веществами хорошо известны по последствиям атомных бомб, сброшенных американцами на Хиросиму и Нагасаки. Оказалось, что от радиоактивного отравления часть людей гибнет в короткий промежуток времени. Другая же часть населения гибнет на протяжении нескольких лет, обычно от лейкемии или других видов ракового заболевания.

Прорыв наружу радиоактивного содержания реактора может произойти, если в реактор перестанет поступать охлаждающая его вода. Тогда элементы реактора перегреваются, окружающая его защита разрушается и содержимое вырывается наружу. На языке специалистов это называется «расплав активной зоны» (core melt down). Чтобы это не могло произойти, применяется ряд предохранительных устройств. Надежность этих предохранительных мер оценивается численно: вычисляется вероятность, с которой может произойти авария. На построенных в США атомных станциях вероятность аварий до сих пор конструкторами реакторов оценивалась в миллиардную долю, и их считали просто невозможными. Многие, однако, считали эти расчеты нереальными. Надежность такого рода оценок была в корне поколеблена аварией, происшедшей на электростанции Браунс Ферри (Browns Ferry) в Калифорнии в марте 1975 г. Примерно через год было опубликовано официальное заключение комиссии [4], назначенной выяснить причину этой аварии. Я приведу, из заключения только несколько характерных черт этого происшествия. Авария произошла от пожара, который возник под помещением, где находится центр управления электростанцией. Загорелись кабели. Причина пожара — простая свечка, посредством которой рабочий старался обнаружить утечку из трубы, по которой подводился сжатый воздух,

438

Только через 15 минут после возгорания, когда убедились, что имеющиеся противопожарные средства недостаточны, начали вызывать пожарную команду. Тогда оказалось, что номер ее телефона был перепутан. Только через час после возгорания приехала пожарная команда и тогда обнаружилось, что не имеется инструкций, как тушить пожар на ядерной электростанции. Поэтому в продолжение 6 часов не знали, что делать, а потом стали просто тушить пожар водой, что оказалось вполне успешным. Комиссией было установлено, что поскольку аварийное водоснабжение было выведено из строя, то, если бы пожар не был погашен, через небольшое время элементы в реакторе перестали бы охлаждаться водой и произошла бы катастрофа, подобная той, о которой я говорил выше.

Следует отметить, что атомная станция Браунс Ферри находится в густонаселенном районе. Поскольку предусмотренные меры по эвакуации населения не были приняты, то по количеству погибших и отравленных людей эта катастрофа была бы сравнима с катастрофой Хиросимы.

Конечно, эта авария показала, что математические методы расчетов вероятности такого рода происшествий неприменимы, поскольку, как было в данном случае, не учитываются вероятности того, что происходит из-за ошибок в поведении людей: рабочего со свечой, неправильно записанного кем-то номера телефона, того, что никто не предусмотрел инструкцию для тушения пожара на атомных станциях, и пр.

Сейчас, когда стали известны подробности этой аварии, возник вопрос о дальнейшей судьбе атомной энергетики в США.

В Калифорнии находится 35% всех атомных электростанций США. Поэтому население этого штата (20 миллионов человек) очень обеспокоено тем, что большая часть этих станций построена по типу Браунс Ферри и к тому же предполагается построить еще целый ряд аналогичных станций. Полмиллиона людей подписали петицию, в которой они требуют от правительства штата не только прекратить строительство таких станций, но и закрыть уже существующие в Калифорнии атомные станции. Согласно законам штата по этому вопросу будет референдум, и, чтобы получить разрешение

439

на дальнейшую постройку атомных станций, нужно $\frac{2}{3}$ голосов [5]. Референдум ожидается в июне 1976 г., В США сейчас уже работает 59 ядерных реакторов, они производят 4% всей потребляемой электроэнергии. Проектируется дальнейшее широкое развитие ядерной Энергетики, поэтому сенат чрезвычайно серьезно отнесся к аварии на Браунс Ферри и в специальном комитете по атомной энергии разбирался вопрос о надежности ядерных электростанций. Сейчас опубликованы [6] пространные показания в этом комитете трех ведущих конструкторов, по проектам которых строилось большинство ядерных реакторов, в том числе и Браунс Ферри. В показаниях приводятся данные о большом количестве аварий и выявляется совершенно неудовлетворительное обеспечение безопасной эксплуатации реакторов. Они считают, что при существующих в США условиях для развития ядерной энергетики катастрофа масштабов Хиросимы рано или поздно произойдет. Это подтверждается еще и тем, что сейчас в США ни одна страховая компания не берется страховать ядерные электростанции. Эти ведущие конструкторы реакторов сейчас покинули фирму «Дженерал электрик», мотивируя это тем, что морально не чувствуют себя в силах нести ответственность за безопасную работу существующих электростанций, за последствия бедствий, которые могут принести возможные аварии.

Но, конечно, в современных условиях глобальные проблемы энергетики больших мощностей без ядерной энергии нельзя будет решить, и, несомненно, выход из создавшегося положения будет найден. Он должен основываться на том, что при любой аварии, которая может произойти в реакторе на атомной электростанции, она ни при каких обстоятельствах не должна принять характер катастрофы Хиросимы. Сейчас уже предлага-

440

ются решения и заключаются они, например, в том, чтобы помещать ядерные реакторы электростанций под землей на достаточной глубине, как это делается сейчас при подземных испытательных атомных взрывах. По-видимому, хотя это и удорожит постройку электростанций, но может сделать их вполне безопасными. Другое возможное решение — это помещать атомные электростанции в районах, где нет населения, например на необитаемых островах, и превращать генерируемую ими энергию в химическую: например, разлагать воду, а водород в жидком виде использовать как топливо. Это топливо будет намного лучше нефти, так как при сгорании не будет загрязнять воздух.

Прежде чем решать вопрос о широком развитии атомной энергетики, нужно еще отметить, что атомная энергетика на урановом топливе требует решения еще нескольких задач.

Самая трудная из них — это захоронение радиоактивных шлаков. Трудность заключается в том, что их радиоактивность весьма велика и к тому же весьма медленно иссякает. Поэтому любые контейнеры, в которые их захоронят, со временем под влиянием излучения могут разрушиться, и радиоактивность сможет распространиться.

Подсчеты показывают, что при переходе на ядерную энергетику как основную возникающее количество радиоактивных отходов становится таким большим, что их надежное захоронение становится трудно разрешимой задачей, и пока четкого и общепринятого решения этой проблемы нет.

Наконец, в капиталистических странах есть еще одна проблема, не технического, а международно-политического характера, которая тоже требует решения. Известно, что для более полного использования урана применяются реакторы с быстрыми нейтронами, они называются «бридерами». В них уран почти полностью превращается в плутоний, который является лучшим атомным «горючим». Со временем это приведет к тому, что плутоний станет очень распространенным и доступным. Но плутоний является основным элементом, из

которого делается атомная бомба. Для того чтобы сделать бомбу, нужно его иметь только несколько килограммов, и к тому же сейчас конструкция атомной бомбы уже не является секретом. При этих условиях не
441

исключена возможность, что предприимчивая группа гангстеров без особого труда может использовать атомную бомбу для шантажа.

Несомненно, люди, поставленные перед надвигающимся энергетическим кризисом, найдут выход и смогут преодолеть перечисленные трудности, связанные с использованием ядерной энергии, генерируемой при распаде урана. Но сейчас уже становится очевидным, что решение этой проблемы нужно будет эффективно осуществлять в интернациональном масштабе.

Я упомяну также, только коротко, о других методах использования ядерной энергии, поскольку пока еще они практически не реализованы.

Прежде всего, это метод получения энергии не путем разложения тяжелого атома, как уран, а, наоборот, — процессом синтеза легких атомов, который, как известно, может происходить с энергетическим выходом.

Это так называемый термоядерный процесс. Сейчас он осуществляется в водородной бомбе, где благодаря синтезу изотопов водорода получаются гелий и нейтроны. Этот процесс сопровождается большим выходом энергии и происходит только при очень высокой температуре — в сотни миллионов градусов. При этой температуре все вещества находятся в газообразном состоянии в виде плазмы, когда в атомах электроны полностью отделяются от их ядер.

Оказывается, создать такую плазму на короткий промежуток времени, за который происходит взрыв атомной бомбы, вполне осуществимо. Этот процесс происходит в так называемой водородной бомбе, которая сейчас является в сотни раз более мощной, чем урановая.

Чтобы использовать для получения энергии термоядерную реакцию, нужно найти способ ее вести непрерывно и, по сравнению с водородной бомбой, в небольших масштабах. Это практически оказалось весьма трудно осуществимой и пока еще технически не решенной задачей [8].

Во всем мире над ней сейчас усердно работают ученые и инженеры. Хотя задача еще не решена, но пока не выявлено никаких принципиально непреодолимых научно-технических препятствий, стоящих на пути ее решения, и мне лично думается, что со временем управляемый термоядерный синтез будет осуществлен,
442

Найти это решение очень важно, так как полученная этим путем энергия не связана с трудностями, возникающими при использовании уранового горючего, о которых я говорил. При термоядерной реакции количество накопленной радиоактивности столь мало, что ее присутствие не создает опасности. Термоядерный процесс не может быть использован для создания атомных бомб.

И, наконец, горючее, которое используется в термоядерных реакторах, — изотоп водорода дейтерий, и его запасов в океане вполне достаточно, чтобы обеспечить человечество энергией на много тысячелетий. За это время, конечно, найдутся еще другие методы решения энергетических проблем.

Наконец, есть еще один метод получения энергии в больших масштабах. Практически, по-видимому, он неосуществим, но научно вполне обоснован. На основе наших современных космогонических представлений считается, что, когда создавалась наша Вселенная, неизбежно возникала и другая, ей равновеликая, но только состоящая из антивещества. Существование антивещества доказано экспериментально, его получают в ускорителях, правда, в количестве отдельных ядер. Одно из свойств антивещества заключается в том, что при соприкосновении с веществом они оба аннигилируют и превращаются в энергию. Не представляет труда подсчитать, что один грамм в такой реакции дает энергию, эквивалентную получаемой при сгорании 10000 тонн каменного угля. Таким образом, одной тонны антивещества было бы вполне достаточно, чтобы сейчас обеспечить на год энергией весь земной шар.

Но как получить из антимира это антивещество? Высказывалось предположение, что небольшое количество антивещества могло бы проникать в виде метеоритов в наше космическое пространство, поскольку оно очень разрежено. Их столкновения с атомами были бы настолько редки, что, проникнув в наш космос, они не полностью аннигилировали бы. Извлекая посредством спутника это вещество из космического пространства и доставляя его на Землю, мы могли бы иметь наиболее совершенный источник энергии. Известно, что попытки найти антивещество в космическом пространстве пока не увенчались успехом,

Но даже если антивещество и находится в нашем космическом пространстве в виде антиметеоритов, то как его извлечь и доставить на Землю так, чтобы оно при этом не соприкасалось с веществом? Задача эта представляется весьма трудной, а возможно, даже вообще неразрешимой. Но жизнь нас учит, что ряд процессов, которые считались невероятными, все же осуществлялись. Об этом забывать не следует.

Заканчивая научную сторону рассмотрения проблемы обеспечения людей энергией большой мощности, я коснусь вкратце одной социально-политической стороны этой проблемы, связанной с ее глобальным характером. Совершенно очевидно, что все глобальные проблемы придется решать в международном масштабе. Основная трудность осуществления необходимых решений будет заключаться в том, что их требования часто будут противоречить интересам отдельных стран. Основная социально-политическая задача сводится к тому, как подчинить интересы отдельных государств интересам всего человечества в целом.

Тут высказывается ряд мнений. Одни считают, что это вообще неосуществимо, что надо предоставить развитию человеческой культуры полную свободу. До сих пор в продолжение миллионов лет человечество путем проб и ошибок само находило путь развития цивилизации. Найдет и сейчас.

Другое мнение, более конструктивное, как многие справедливо считают,— что необходимость решать глобальные проблемы приведет человечество к построению общества с социалистической структурой и что только при такой организации общества можно осуществить совмещение интересов отдельных государств с интересами всего человечества [9]...

Для решения глобальных проблем необходимо, чтобы целый ряд областей народного хозяйства, связанных с экологическими проблемами, перешел под международный контроль. К этому уже сейчас многие начинают склоняться. Например, все чаще раздаются призывы к тому, чтобы эксплуатация Мирового океана, и в особенности добыча сырья из его недр, контролировалась Организацией Объединенных Наций.

Проблему энергетического снабжения и использования энергетических ресурсов тоже становится необходимым решать в международном масштабе. Это уже на-

444

чало осуществляться при создании Международного агентства по атомной энергии, основная функция которого и есть управление ресурсами и безопасностью использования атомной энергии в глобальном масштабе. Эффективное решение глобальных проблем станет возможным только в том случае, если их значимость для судеб человечества будет широко осознана людьми, а это возможно только при широком обсуждении этих проблем. Поэтому ученые должны заботиться, чтобы обсуждение велось на строго научной основе. Конечно, основу решения глобальных проблем должны быть положены этические обязательства человека перед обществом.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Price D.* Little Science, Big Science. — N. Y., 1963.
2. *Meadows D. H., Meadows D. L., Randers J., Behrens W. W., III.* The Limits to Growth. — N. Y.: University Books, 1972.
3. *Каница П. Л.* Энергия и физика. — УФН, 1976, т. 118, с. 307.
4. Fire at a Nuclear Plant. — U. S. News and World Report, 1976, 16 February.
5. Les deserteurs de l'atome. — *Nouvel Observateur*, 1976, 1—7 Mars. 6. *Bridenbaugh D. G., Hubbard R. B., Minor G. C.* Testimony before the Joint Committee on Atomic Energy. 18 February 1976. — Washington, 1976.
7. A Victory for Nuclear Power, but... — U. S. News and World Report, 21 June 1976.
8. *Каница П. Л.* Полезное получение энергии от термоядерных реакторов. — Письма в ЖЭТФ, 1975, т. 22, с. 20.
9. *Каница П. Л.* Глобальные научные проблемы ближайшего будущего. — Вопросы философии, 1973, № 2, с. 37.

НАУЧНЫЙ И СОЦИАЛЬНЫЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ГЛОБАЛЬНЫХ ПРОБЛЕМ

Берналовская лекция, прочитанная в Лондонском Королевском обществе 1976

Одно из основных отличий человека от животного в том, что в своем эволюционном развитии он преобразует окружающую природу, приспособлявая ее к своим потребностям, в то время как эволюция животного мира основывается на его приспособляемости к природе.

445

Для более эффективного преобразования природы люди стали это делать организованным порядком, коллективно, и так возникла общественная структура, которая сейчас достигает размеров государства, а в процессах экономической интеграции даже выходит за его рамки. Этот процесс мы называем цивилизацией. Рост благосостояния Людей привел к тому, что население земного шара стало экспоненциально возрастать с увеличивающимися показателями. Известно, что такой закон роста не только непрерывно увеличивает народонаселение, но при этом также увеличивается скорость роста, и в конечном итоге он принимает характер взрыва, который может не поддаться контролю людей.

Сейчас общепризнанно, что численность населения земного шара приближается к критическому состоянию, она уже достигла 4 миллиардов при годичном приросте около 100 миллионов. При современной технологии производства такое количество людей вызывает в окружающей природе изменения необратимого характера и таких масштабов, которые могут вызвать в ближайшем столетии обратное действие на благосостояние человека и будут вредно влиять на рост цивилизации.

Возможность такого катастрофического процесса теперь полностью осознана, и необходимость его предотвращения начинает справедливо считаться для всего человечества одной из важнейших проблем.

Для предотвращения назревающего кризиса в первую очередь необходимо решить четыре основные проблемы глобального характера:

1. Контроль над ростом народонаселения (его количественными и качественными показателями).
2. Создание новых энергетических ресурсов (поскольку есть перспектива истощения природных запасов газа, нефти, угля и др.).
3. Преодоление угрозы истощения источников промышленного сырья,
4. Преодоление угрозы глобального загрязнения окружающей среды.

Все эти проблемы взаимно связаны, но такое их разделение, по-видимому, является наиболее удобным при изучении способов их решения. Известно, что эти решения имеют как научную, так и социальную стороны и касаются разнообразных областей знания, и, ко-

446

нечно, их невозможно охватить в одной лекции. Поэтому в своей лекции я ограничусь следующей стороной подхода к этим проблемам. Нетрудно видеть, что решение глобальных проблем должно основываться на твердой научной базе — это будут закономерности, установленные физикой, химией, биологией и другими так называемыми естественными науками. Но также это должны быть закономерности, лежащие в основе построения и развития общества, которые должны научно обосновываться. Здесь действуют и социально-психологические закономерности, но пока они еще недостаточно четко выявлены, чтобы можно было их надежно использовать для практических целей. Существует даже распространенное мнение, что объективный научный подход к социальным проблемам лежит за пределами человеческих возможностей. Поэтому ряд ученых считает, что решение глобальных проблем надо предоставить «мудрости природы», которая миллионы лет руководит эволюцией. Но я думаю, что не следует складывать оружие в борьбе за решение этих проблем и предоставлять развитие цивилизации полностью самотеку.

В своем докладе я ограничусь тем, что попытаюсь показать, что даже на современном уровне научных знаний можно найти объективный научный подход к решению ряда сторон глобальных проблем.

Я начну анализ с вопроса: в чем, в сущности, заключается научный подход к решению любой проблемы?

В основе эволюции, которой руководит «мудрость природы», лежит способ «проб и ошибок». Все те пробы, которые оказались в соответствии с требованиями эволюции, развивались. Так возник человек. На это потребовалось много миллионов лет. Человек начал преобразовывать окружающую его природу тоже путем «проб и ошибок». Но процесс завоевания человеком природы основывался на том, что он стал обобщать опыт удачных проб, накапливая и передавая его другим людям. Таким образом возник механизм социальных наследований и исключалась необходимость повторять пробы и сделанные ошибки. Метод «проб и ошибок» по сей день лежит в основе познания природы и используется для ее преобразования. Все, что сейчас

ограничивает количество «проб и ошибок», которые необходимо сделать для решения поставленной задачи, уже можно характеризовать как начало научного под-
447

хода. В основе научных закономерностей происходящих в природе процессов лежит логическое обобщение опыта, полученного из «проб и ошибок». Ценность научного подхода для развития цивилизации определяется тем, что приобретенный опыт распространяется между людьми и сохраняется со временем. Поэтому влияние науки на развитие цивилизации стало возрастать с развитием письменности и книгопечатания.

Религия тоже включала в себя накопленный опыт, но она в корне противоположна научному подходу, в основе которого лежит закон причинности, единственно возможный для рассматриваемого явления. В конечном итоге научно поставленная задача должна иметь одно решение, так же как может существовать только одна таблица умножения. Эта однозначность научных обобщений выражает их объективность, и поэтому наука стала интернациональной, и это объясняет те противоречия, которые неизменно возникали между религиями и наукой.

Процесс научного мышления стали изучать самостоятельно в XVII в. Фрэнсис Бэкон показал, что использование опыта путем дедукции и индукции лежит в основе научного подхода к решению поставленной проблемы. Практическое значение науки Бэкон охарактеризовал весьма образно: «Хромой калека, идущий по верной дороге, может обогнать рысака, если тот бежит по неправильному пути. Даже более того, чем быстрее бежит рысак, раз сбившись с пути, тем дальше оставит его за собой калека». Социальное значение науки для решения проблем человеческой цивилизации Бэкон изложил в своей «Новой Атлантиде».

Научное обобщение опыта, получаемого из «проб и ошибок», стало охватывать все больше областей культуры. Во времена Бэкона основные научные проблемы лежали в области математики, механики, физики, потом они стали охватывать химию и биологию. В XIX в. возникли чисто прикладные науки. Для конструирования мостов, паровых и электрических машин и пр. стало необходимо, чтобы развивались такие прикладные науки, как сопротивление материалов, прикладная математика, механика и др. Сейчас число технических наук очень велико, и они лежат в основе современной техники. В прошлом веке стали возникать высшие учебные заведения, где обучали только техническим нау-
448

кам. В наш XX в. научный подход стал распространяться на организацию самого производства. Это так называемая «наука управления». Она возникла на основе обобщения опыта, полученного из изучения процессов промышленного производства. Сейчас эта наука начинает широко распространяться.

Научный подход к организации общественной структуры тоже начался в XIX в., когда возник научный социализм, который позволил выявить закономерности общественных процессов. Чтобы охватить все стороны общественных процессов, нужно также найти закономерности эмоционального взаимоотношения человека и общества. Только теперь начали открываться пути, по которым можно выявить эти закономерности.

Переходя к основной теме моей лекции, научному подходу к решению приведенных выше глобальных проблем, мне придется опираться на уже известные результаты в различных науках, и при этом, конечно, будут спорные выводы. Поэтому я прошу мой анализ рассматривать как приближенный и подлежащий еще дальнейшему уточнению.

Проблемы народонаселения

Первая глобальная проблема, которую надо решить: как возможно научно определить те методы, на которых надо основываться, чтобы контролировать количество и качество народонаселения? По-видимому, из глобальных проблем эта наиболее важная и трудная.

Начнем с количества народонаселения. По этому вопросу статистическая информация сейчас достаточно полна и надежна. Сейчас население земного шара достигло 4 миллиардов и экспоненциально растет на 2,4 % в год, так что удваивается примерно каждые 30 лет. Такой рост в ближайшие десятилетия прекратится, так как не будет хватать питания. В некоторых странах Азии и Африки уже наблюдается массовая смертность от голода, и некоторые авторы считают, что на этих континентах сейчас умирает до 12000 человек в день. Средняя продолжительность жизни в этих районах не превышает 30—40 лет. Такой процесс регулировки численности населения не только не отвечает понятию гуманности, но, как показывает ряд исследований, влияет на качество населения. Дети, рожденные от голодающих

родителей и вырастающие на голодном пайке, становятся необратимо неполноценными людьми как физически, так и умственно. И человечество, конечно, не должно допускать, чтобы это имело место. Поэтому государство и общество, основываясь на экономических возможностях данной страны, обязаны взять на себя организационный контроль над рождаемостью.

Современная наука дает ряд средств для установления контроля над рождаемостью. Их широко и успешно применяют в ряде экономически развитых стран. Надо отметить, что действующая сейчас Всеобщая декларация прав человека Организации Объединенных Наций не предусматривает необходимость контроля над численностью народонаселения. В статье 16 нет никаких ограничений прав человека в создании семьи. Эта статья в 1975 г. была рассмотрена группой ученых-экспертов из различных стран, приглашенных в Женеву комитетом ООН по правам человека для пересмотра декларации прав человека в связи с научно-техническим развитием современной цивилизации. Вот заключение группы экспертов: «Предлагается дать более точное определение обязанностей отдельной личности по отношению к обществу и прав будущих поколений. Например, нам представляется, что кризис, связанный с ростом населения земного шара, должен привести к некоторому ограничению права отдельного человека на размножение и что право ребенка быть рожденным физически и умственно здоровым превосходит право родителей на размножение» (It is recommended that a better definition be given of the duties of the individual to the community and of the rights of future generations. For example, it seems to us that the crisis in growth of the world's population must lead to some constraint on the individual right to reproduce, and that the right of the child to be born physically and mentally sound takes precedence over the rights of parents to reproduce). Весь вопрос сводится к тому, какими социальными мероприятиями возможно ограничить право родителей на размножение, инстинкт которого заложен в каждом существе.

Конечно, тут открыты два пути. Первый — установление законов, ограничивающих размеры семьи. Второй — без принуждения, путем пропаганды и поощряющих мероприятий ограничивать размер семьи. Второе

450

мероприятие более приемлемо, так как больше отвечает общепринятым этическим принципам.

Статистика показывает, что в развитых странах численность населения сама по себе стремится к равновесию. Так, в Европе теперь годовой прирост населения понизился до 0,4—0,9%. В развивающихся странах, где прирост наиболее высок (часто более 3%), уже возникает голод, и государственный аппарат начинает понимать, что необходимо вмешательство. Сейчас в ряде стран Азии уже начинают успешно применять различные методы контроля рождаемости. За эффективностью применяемых мероприятий можно следить по статистическим данным. Есть основания считать, что с ростом культуры в развивающихся странах в ближайшие десятилетия численность населения будет находиться под возрастающим контролем.

Из всех глобальных проблем контроль «качества» народонаселения является одной из наиболее важных, поскольку ее решение в значительной мере определит судьбу человечества. Под качеством народонаселения мы подразумеваем целый комплекс медико-генетических и социально-психологических характеристик жизни людей: их физическое здоровье, уровень развития интеллектуальных способностей, психо-физиологический комфорт жизни, механизмы воспроизводства интеллектуального потенциала общества и т. п. В то же время общепризнанного научного подхода к решению этой проблемы еще нет. По-видимому, это связано с тем, что изучение этой проблемы трудно вести объективно, вне эмоций, которые обычно возникают при рассмотрении социальных вопросов. Но мы все же попытаемся продвинуть решение этой проблемы по научному пути.

«Качества» людей, особенно интеллектуальные, могут меняться от одного поколения к следующему. Теперь общепризнанно, что направление этого развития обуславливается тем, что определенные генотипы размножаются более интенсивно, чем другие, и в результате становятся преобладающими. Такой процесс идет в любой достаточно замкнутой социальной структуре, и качество ее людского состава будет со временем меняться. Например, статистические данные показывают, что в ряде наиболее развитых стран люди, занимающиеся наиболее квалифицированной умственной деятельностью, имеют более малочисленные семьи. Однако те

451

дети, у которых оба родителя умственно одаренные, могут стать еще одареннее своих родителей. Конечно, этот отбор будет проявляться только в статистических средних показателях. Если в рассматриваемой общественной структуре такой процесс имеет место, то он приведет к относительному уменьшению числа людей, имеющих наилучшие генетические задатки для высококвалифицированного умственного труда, но поднимает среднее «качество» людей в этом отношении. Ставится вопрос: хорошо это или плохо? Ответ не может быть однозначным. Однако, если при таком изменении качественного состава общества оно станет лучше функционировать, нужно будет признать, что для данной общественной структуры такой процесс улучшает качество ее людского состава.

Рассмотрим вопрос, как количественно изучать связь этого процесса отбора, происходящего в данной общественной структуре, с эффективностью ее функционирования. Мы будем исходить из предположения, что на современном уровне цивилизации качество деятельности людей определяется их духовными и умственными способностями. На производстве физическая сила человека редко бывает нужна. Современная медицина, главным образом благодаря вакцинам, антибиотикам и гормонам, обеспечивает здоровое состояние людей с самыми различными физическими данными. Например, благодаря инсулину даже диабетики могут счастливо и полезно существовать.

Умственные и духовные данные взрослого человека определяются двумя факторами: во-первых, это качество способностей, с которыми он рождается, и, во-вторых это качество того воспитания, которое ему дает общество, чтобы он выполнял возлагаемые на него функции. Поэтому для успешного формирования человеческой личности должно быть соответствие между его духовными и умственными данными и процессом воспитания; Этот процесс уже начал поддаваться научному анализу. Схематично он сводится к следующему. Человек рождается с рядом природных инстинктов, генетически заложенных в нем. Чтобы стать полноценным членом общества, его деятельность должна направляться согласно этике и традициям того коллектива, в котором он живет и работает. Для этого ряд этих врожденных инстинктов, главным образом эгоистической природы,

452

должен быть в нем подавлен. Процесс воспитания, как и последующая деятельность, нагружает психику человека, и если его духовные и умственные качества недостаточны, то его нервная система может не выдержать такой нагрузки. Генетически заложенные в человеке природные инстинкты, даже если они подавлены, все равно сохраняются неудовлетворенными в подсознании. Эта неудовлетворенность часто бывает, как считал Фрейд, причиной нервных заболеваний.

Как известно, изучение процессов взаимодействия подавления и реальной духовной деятельности человека производится путем психоанализа и лежит в основе диагностики нервных заболеваний и психотерапии.

С другой стороны, если общество ставит человека в такие условия, когда его духовная и умственная деятельность нагружают его психику больше, чем она может вынести по своим природным качествам, то это тоже может вызвать нервные заболевания. Такие психические процессы в более элементарной форме изучались И. П. Павловым, поскольку воспитание связано у человека с усвоением условных рефлексов. Так, экспериментально было показано, что если вызывать их у собак сложными сигналами, например определенной комбинацией света и звука, то хотя собака и приучается к ним, но это вызывает у нее нервное заболевание — бессонницу, потерю аппетита и пр.

Таким образом, «качество» людей в данной общественной структуре будет определяться тем, как они способны поддаваться воспитанию и как они выносят психическую нагрузку, которую налагает на них общество.

Но что же происходит с индивидуумом «плохого качества» в данной общественной структуре?

Согласно современной психологии, такой индивидуум чаще всего страдает нервными заболеваниями, которые даже могут привести к самоубийству. Конечно, терапия помогает бороться с этим явлением. Одним из методов терапевтического воздействия на уравновешивание нервной системы являются наркотики, т. е. лекарства, действующие на нервную систему. Это объясняет, почему даже в наиболее примитивной общественной структуре всегда в каком-либо виде имело место употребление наркотиков. В современном обществе широко употребляются такие стимулянты, как чай, кофе, алкоголь,

453

табак и пр. Их широкое употребление в умеренном количестве, несомненно, помогает людям выносить психическую нагрузку. Те индивидуумы, которые при тех возможностях, которые им дает цивилизация, не выдерживают психических нагрузок, становятся неврастениками, наркоманами, алкоголиками.

Есть еще один признак, по которому определяется духовная неприспособленность людей к данной структуре общества. Она проявляется в том, что при тех возможностях, которые открывает ему жизнь, человек не может найти удовлетворения. Это приводит к тому, что человек не всегда может противостоять своим, чаще всего эгоистическим, желаниям, и он совершает противозаконные поступки, а в конечном итоге может даже стать преступником.

Таким образом, согласно принятой нами точке зрения, если в данной общественной структуре динамика популяции людей качественно не удовлетворяет ее социальным запросам, то это приводит к тому, что со временем в данном обществе будут расти нервные заболевания, самоубийства, наркомания, преступность.

По статистическим данным для этих явлений и по их изменениям со временем после соответствующего анализа, по-видимому, можно получить критерий, определяющий качественные изменения людей в данной общественной структуре.

Таким образом, мы располагаем тремя количественными оценками, которые определяют характер развития данной общественной структуры.

1. Улучшение здорового образа жизни — по долголетию.
2. Рост материального благосостояния — по валовой продукции на душу населения.
3. Рост духовных и умственных качеств населения — по сокращению преступности, нервных заболеваний, наркомании.

Эти три фактора нельзя считать независимыми друг от друга. Первая и вторая оценки хорошо известны, и обычно принято ими ограничиваться. Но последнюю оценку нужно считать наиболее важной, поскольку она определяет судьбу данной общественной структуры.

Теперь мы подходим к самому важному вопросу. Какое «качество» народонаселения нужно, чтобы человечество успешно развивалось? Для этого недостаточ-

454

но, чтобы данная государственная структура успешно функционировала. Требуется еще, чтобы сама структура общества была прогрессивной и способствовала развитию всего человечества.

Таким образом, качество данной общественной структуры может определяться степенью участия данного государства в решении проблем международного значения. Поэтому а priori оно не может базироваться на узком национализме. Один из конкретных критериев — степень участия государства в прогрессивном развитии мировой цивилизации. Это в первую очередь предполагает участие в решении глобальных проблем. По-видимому, миролюбивый отказ от силовых приемов может также служить критерием при оценке качества общественной структуры.

Конечно, международное поведение государства в значительной степени определяется тем мировоззрением, той этикой и духовной культурой, которая лежит в основе его построения. Духовная культура данной социальной структуры объединяет в себе науку, искусство, литературу, религию, использование свободного времени, развлечения, воспитание, находится под воздействием классовых отношений, распределения материальных благ и всего того, что может влиять на формирование идеологии людей. Критически изучая эти факторы, можно дать оценку влияния данной общественной структуры на развитие культуры всего человечества.

Будущее человечества зависит от исхода соревнования самих общественных структур, которое непрерывно идет в мире; именно это соревнование и выдвинет тот вид структуры, которая определит судьбу человечества.

Энергетические ресурсы

Вторая по значимости глобальная проблема — обеспечение людей энергетическими ресурсами. Основной фактор, обеспечивающий рост цивилизации,— это использование энергии, которое началось с того, что человек для производства работы, чтобы эффективнее использовать физическую силу, стал создавать орудия. Затем человек стал использовать физическую силу животных, энергию потоков воды, ветер. Параллельно, научившись обращаться с огнем, стал использовать тепловую энергию. Большой сдвиг произошел, когда человек

455

научился превращать тепловую энергию в механическую и была изобретена паровая машина, которая в практических масштабах стала использоваться только в начале XVIII в. Принципиально новые возможности в использовании энергетических ресурсов появились в XIX в., когда стала применяться электрическая энергия. Это дало возможность значительно расширить механизацию в разнообразных областях промышленности и быта. В нашем, XX в. появилась ядерная энергия, которой, несомненно, предстоит ведущая роль в будущей энергетике.

Использование людьми в глобальных масштабах энергетических ресурсов неизменно увеличивается, и это увеличение происходит по экспоненциальному закону. Так, мировое потребление энергии увеличивалось за последние 15 лет на 5% в год. Статистикой установлено, что валовой национальный продукт в стране пропорционален потреблению энергии. В США сейчас мощность разнообразных источников энергии составляет до 10 киловатт на человека, т. е. по крайней мере в 100 раз больше, чем средняя мускульная мощность одного человека. Поэтому основной функцией человека теперь стало управление энергией, как теперь принято говорить — нажимать кнопки. Для этого человеку нужно только знать, когда и какую кнопку он должен нажать. Это умственная задача, физического труда тут нет. Это привело к тому, что основными ценностями человека, которые нужны для современной цивилизации, стали его духовные и умственные качества.

Если начать отнимать у людей энергетические ресурсы, цивилизация начнет двигаться в обратном направлении, и мы вернемся к уровню цивилизации средних веков. Поэтому, если в ближайшие столетия начнут сокращаться энергетические ресурсы, это может не только остановить рост цивилизации, но она начнет деградировать. Причина такого кризиса весьма проста. Сейчас потребляемая людьми энергия на 90 % производится за счет тепла, получаемого от сгорания топлива — нефти, угля, газа. Это топливо накоплено на земном шаре благодаря биологическим процессам в продолжение многих тысячелетий. Как бы экономно им ни пользоваться, это топливо со временем, несомненно, будет израсходовано, и тогда наступит кризис. Поскольку нет возможности точно определить запасы топлива

456
-на земном шаре, а также предвидеть рост потребления энергии, то время наступления кризиса сейчас оценивается по-разному, но общепризнанно, что это произойдет в ближайшие одно-два столетия. Возможность решения этого кризиса путем использования неиссякаемых источников энергии, таких, как Солнце, геотермальное тепло, ветер, потоки воды и многие другие, подробно изучается, и по этому вопросу есть уже большая литература. Но объективная оценка создавшегося положения приводит к тому, что единственный путь решения этого кризиса, который позволит обеспечить потребление энергии в необходимых масштабах,— это использование ядерной энергии.

Существование этой энергии обнаружили только в этом столетии, 40 лет тому назад этого пути выхода из энергетического кризиса не было. Если бы ядерная энергия не была открыта, то сейчас положение было бы катастрофическим. За эти 40 лет ядерная физика стала настолько хорошо изучена, что можно научно обосновать, что этим путем глобальный энергетический кризис может быть предотвращен.

Здесь я ограничусь только тем, что остановлюсь на тех научных и социальных проблемах, которые еще предстоит разрешить, чтобы можно было применять ядерную энергию в таком масштабе и таких больших мощностей, чтобы она заменила энергию, получаемую от топлива органического происхождения.

Сейчас известны два пути получения ядерной энергии, обеспечивающие мощность, необходимую для большой энергетики. Первый из них основан на том, что ядра одного из наиболее тяжелых элементов — урана — при воздействии на них нейтронов могут распадаться и при этом в некоторых условиях возникает цепная реакция и выделяется энергия. Эти процессы изучены, и практически они были использованы в атомной бомбе. Замедляя этот процесс, можно его использовать для непрерывного получения энергии. Сейчас таким путем успешно работают электростанции мощностью более миллиона киловатт. Природных запасов урана, по-видимому, хватит на тысячелетия, если его будут полностью использовать в реакторах, так называемых «бридерах», работающих на быстрых нейтронах.

Но все же на пути использования уранового топлива лежат пока еще не преодоленные трудности. Связаны

457

они в основном с тем, что ядерные процессы происходят на очень высоком энергетическом уровне, который соответствует температуре в сотни миллионов градусов, на много порядков выше той, которая обычно имеет

место в процессах, происходящих на Земле. При ядерных процессах возникают различного рода излучения, которые разрушают материалы и представляют большую опасность для людей.

Последствия облучения людей таким излучением хорошо известны по взрывам атомных бомб в Хиросиме и Нагасаки, когда десятки тысяч людей погибли сразу, но еще столько же погибло в продолжение ряда лет от болезней, вызванных этим облучением. В современных реакторах крупной электростанции сосредоточена во много раз большая радиоактивность, чем в бомбах, сброшенных на Хиросиму и Нагасаки. И в случае, если эта радиоактивность, например, при аварии вырвется наружу, она может привести к катастрофическим последствиям еще большего масштаба. Поэтому обращение с реакторами, в которых происходят ядерные процессы, требует тщательно разработанной техники безопасности. Для обычных реакторов это оказалось трудной технической задачей. Обеспечить безопасность реакторов-бридеров, необходимых для полного использования урана, оказывается еще труднее.

После использования урана остаются высокорadioактивные шлаки, в которых, по их удалении из реактора, эта радиоактивность сохраняется в продолжение нескольких сот лет. Пока еще нет общепризнанного способа безопасного захоронения этих шлаков. Это связано с тем, что под длительным влиянием радиоактивного излучения контейнеры из любого вещества могут со временем терять свою герметичность.

Вопрос о безопасности эксплуатации ядерных электростанций сейчас обострился в связи с недавно происшедшей крупной аварией в Калифорнии на атомной электростанции Браунс Ферри (Browns Ferry). Разбор причины катастрофы показал, что пока еще недостаточно обеспечивается безопасность при использовании уранового топлива. Трудность обеспечения надежности работы с урановыми реакторами видна еще из того, что, несмотря на то, что все ядерные процессы хорошо научно изучены, до сих пор нет общепринятых конструкций реакторов, которые были бы признаны пол-

458

ностью обеспечивающими безопасность их эксплуатации. Необходимо решить вопрос, связанный с безопасностью использования урана, так как он будет основным источником энергии будущего. Сейчас это полностью осознано, широко обсуждается и даже принимаются законодательные решения. Нет научных оснований считать, что со временем не будет найдено решение этих проблем.

Есть еще одна трудность при использовании урана как ядерного топлива. Дело в том, что получающийся при этом плутоний может быть использован для атомной бомбы. Поэтому широкое распространение ядерных электростанций привело бы к широкому распространению плутония, и контролировать его использование для атомных бомб стало бы очень трудно. Сейчас уже есть страны, которые получили из имеющихся у них реакторов, построенных для мирных целей, плутоний и сделали атомные бомбы. Поэтому современный метод контроля за реакторами, использующими урановое горючее, нельзя считать достаточным. Этот вопрос сейчас тоже широко обсуждается.

Все это указывает на большое значение осуществления другого метода получения ядерной энергии, который основан на так называемой термоядерной реакции. Эта реакция основана на том, что легкие атомы могут соединяться, т. е. происходит их синтез, и при этом выделяется очень большая энергия. Возникающие при этом более тяжелые элементы не радиоактивны, и термоядерный реактор практически не представляет опасности для людей, а также не может быть использован для атомной бомбы. Эффективным горючим является изотоп водорода — дейтерий. В воде его достаточно, поэтому не может возникнуть недостатка в горючем. Возможность осуществления такой реакции и ее высокого энергетического выхода доказана на опыте тем, что она осуществляется в водородной бомбе, когда она инициируется взрывом урановой бомбы.

Но осуществлять эту реакцию саму по себе и так, чтобы она была полезным источником энергии, оказалось весьма трудной научной задачей, которая пока еще не решена, несмотря на то, что уже более двадцати лет в ряде стран в этом направлении упорно ведутся научные работы. Я лично думаю, поскольку нет принципиально непреодолимых преград, что со временем

459

задача будет решена. Если управляемый термоядерный синтез может быть осуществлен, то теперь уже выявляются необходимые для этого условия. Схематически решение задачи сводится к следующему. Чтобы получить непрерывную термоядерную реакцию, нужно нагреть плазму до температуры в несколько сот миллионов градусов. При этом, конечно, от плазмы будет интенсивно отводиться тепло, и это будет мешать ее нагре-

ву. Есть два пути уменьшения тепловых потерь и получения необходимой высокой температуры. Первое — это поместить плазму в сильное магнитное поле. Тогда есть полное основание считать, что тепловые потери уменьшатся, как четвертая степень интенсивности магнитного поля. Необходимое магнитное поле оценивается в 50—60 кЭ, и оно вполне осуществимо при современных сверхпроводящих соленоидах. Второе — это уменьшение относительных тепловых потерь, которые будут происходить при увеличении размеров плазменной массы, поскольку производимое тепло пропорционально объему, т. е. кубу размеров, а теплотери — поверхности, т. е. квадрату размеров. Эти условия делают необходимым осуществление экспериментов в больших масштабах и приводят к большим материальным затратам. Например, стоимость необходимого сверхпроводящего соленоида тороидальной формы оценивается в несколько сот миллионов долларов.

Боязнь риска, связанного с такими расходами, пока мешает развитию этих научных работ в необходимых масштабах.

Сырьевые ресурсы

Третьей глобальной проблемой считается истощение сырьевых ресурсов. В отличие от первых двух — проблемы контроля народонаселения и сокращения энергетических ресурсов — эта проблема не имеет характера кризиса. Она просто заключается в том, что истощаются наиболее богатые источники минерального сырья и людям приходится использовать более бедные. В ряде случаев, как, например, при добыче меди, это уже имеет место. Это обычно связано с большими трудозатратами и большими энергозатратами. Поскольку ценность продуктов возрастает, это приводит к тому, 460

что начинает разрабатываться технология более бережного их использования. В основном это сводится к тому, что используется так называемый циклический процесс, который не имеет отходов. Такие циклические процессы существуют в природе, поэтому она и существует на Земле миллионы лет без признаков истощения сырья.

Наиболее неблагоприятное положение сейчас в сельском хозяйстве. Достигнутые сейчас высокие урожаи — «зеленая революция» — осуществимы только при широком использовании минеральных удобрений. Практика показывает, что при существующих методах агротехники только 30—40% минеральных удобрений усваивается растениями, а остальное уносится и обычно попадает в реки и озера, где производит нежелательное загрязнение. Таким образом, нарушается существующий в природе для растений процесс циклическости почвенных элементов, охраняющий природу от истощения. Это неизбежно приведет к невозместимому истощению некоторых видов сырья, как, например, фосфора, необходимого для ряда минеральных удобрений. Стоит весьма важная научная проблема — направить развитие современной агротехники таким образом, чтобы она более полно использовала минеральные удобрения и сельское хозяйство основывалось на циклических процессах. Конечно, переход к циклическим процессам в производстве пищи для людей может быть также осуществим, если пища будет производиться не природой, но искусственным, синтетическим путем. Синтез продуктов питания, в особенности белков, решил бы ряд важных социальных и экономических проблем. Например, не было бы голода при неурожаях, уменьшились бы гастрические заболевания и ряд других отрицательных явлений. Синтетическая пища — это большая научная проблема, которая находится еще в зачаточном состоянии. К решению этой проблемы надо отнестись с большим вниманием.

Из общей характеристики научного подхода к решению глобальных проблем, связанных с истощением сырьевых ресурсов, следует, что они тоже связаны с решением проблемы обеспечения энергетическими ресурсами, поскольку при использовании более бедных источников сырья и создании циклических процессов и синтетического питания станет необходимым увеличивать

461

энергозатраты. Поэтому, если не будут расти энергетические ресурсы, решение этих проблем не может быть осуществлено.

Загрязнение окружающей среды

Четвертая глобальная проблема — это загрязнение окружающей среды. Из всех глобальных проблем она сейчас наиболее широко обсуждается, так как люди непосредственно чувствуют на себе загрязнение рек, морей, океанов, воздуха отходами современной цивилизации. Сейчас уже всюду началась борьба с этим загрязнением. В ряде случаев эта борьба приводит к технологии циклических процессов и ставит перед наукой аналогичные проблемы. Но есть и новые проблемы, о которых следует упомянуть. Первая относится к эко-

логии. Ряд промышленных отходов, попадая в воду, в воздух или в почву, нарушает биологическое равновесие, что приводит к гибели ряда видов животных. Ставится вопрос: нельзя ли искусственно создавать другие виды биологического равновесия, при котором отходы будут полезно перерабатываться? В небольших масштабах такие проблемы удастся решать, например, в так называемых биофильтрах. Но весьма полезно было бы их решить в больших масштабах и научно создавать такие биологические процессы в озерах и реках, чтобы можно было, например, использовать минеральные удобрения так, чтобы они пагубно не нарушали существующее равновесие. Интересно, что в некоторых случаях путем естественного отбора уже сейчас возникают такие новые биологические равновесия. Это все указывает на то, что экологу сейчас надо не только изучать существующие процессы, но научиться находить новые, полезные, которые будут происходить от загрязнения, имеющего место теперь в окружающей нас среде.

Другая глобальная проблема, которая является весьма важной и на которую уже обращено внимание, связана с загрязнением атмосферы, которое может вызвать изменение климата всего земного шара. Еще широко не осознано, что средняя температура атмосферы всего земного шара весьма неустойчива.

Причина этого имеет вполне определенное физическое основание, Оно заключается в следующем, Прак-
462

тически все тепло, которое обеспечивает климатические условия на Земле, поступает в виде радиации от Солнца. В таком же количестве эта энергия покидает Землю в виде теплового излучения в космическое пространство. При той излучающей способности, которую имеет земная поверхность с окружающей ее атмосферой, оказывается, что для того чтобы энергия поступала от солнечной радиации и уравнивалась земной, нужно, чтобы средняя абсолютная температура у земной поверхности была близка к 300 К. Это приводит к тому, что достаточно, чтобы поступающая энергия солнечного излучения изменилась на несколько процентов или на столько же изменилась излучающая способность земной поверхности, чтобы средняя температура Земли существенно изменилась. Например, если это похолодание, то может возникнуть ледниковый период. При потеплении начнется таяние антарктических и арктических льдов, уровень океана начнет подниматься и значительная часть европейского континента будет затоплена. Такая неустойчивость средней температуры земной поверхности подтверждается климатическими колебаниями, которые уже происходили на Земле и приводили к ледниковым периодам.

Современные изыскания показывают, что ледниковые периоды можно проследить в глубь веков на миллион лет и они происходили не менее семи раз. Вообще, уже то, что возникали ледниковые периоды, показывает, что климат на Земле неустойчив и возможность его изменения сейчас имеется. Она может быть связана с происходящим сейчас глобальным загрязнением атмосферы, главным образом происходящим от авто- и авиатранспорта. Это загрязнение атмосферы может, например, повлиять на содержание в верхних слоях атмосферы озона и на прозрачность воздуха, что может привести к изменению величины радиации земной поверхности, которая сильно зависит от ничтожных примесей в воздухе. Тогда температура земной поверхности изменится. Такое изменение температуры вполне возможно. Этот процесс принято называть «парниковым эффектом». Пока еще не только не обнаружено его существование, но даже не установлен знак, т. е. неизвестно, происходит ли повышение или понижение средней температуры Земли,

463

Изучение радиации всей поверхности Земли является сложной научной проблемой, она требует большой организации и должна решаться в международном масштабе, но пока этого нет. Правда, особой срочности в решении этой проблемы нет, поскольку скрытое тепло в таянии льдов настолько велико, что время релаксации этих климатических процессов велико, и это дает достаточно времени на научное изучение этих процессов.

Сейчас часто указывают, что переход на ядерную энергетику может произвести глобальное потепление, так называемое «тепловое загрязнение». Расчеты показывают, что этот процесс по сравнению с «парниковым эффектом» от загрязнения атмосферы будет во много раз меньше и пока не угрожает глобальным изменением климата нашей Земли.

Заключение

Если суммировать наш анализ, то мы приходим к выводу, что глобальные проблемы ставят перед наукой ряд новых проблем. Из них самыми важными надо считать:

1) Изучение изменений «качества» народонаселения и их связи со структурой общества.

- 2) Безопасное использование ядерных процессов как основных энергетических ресурсов будущего и, главное, создание управляемого термоядерного синтеза.
- 3) Создание замкнутых циклов, в особенности в агротехнике.
- 4) Изучение теплового баланса Земли в связи с загрязнением окружающей среды.

При этом срок для решения всех этих проблем ограничен, по-видимому, одним столетием.

Чтобы эти проблемы решить вовремя, нужны большие интеллектуальные силы и материальные средства. Для этого исследования, направленные на решение этих проблем, нужно развивать в международном масштабе. Чтобы полученные результаты эффективно проводить в жизнь, должен быть создан авторитетный международный аппарат. Создание подобного аппарата — это большой самостоятельный вопрос, рассмотрение которого лежит за пределами моего сообщения. Но все же хочу кратко отметить некоторые наиболее характерные трудности, возникающие при решении этих проблем,

464

Очевидно, что для успешного решения почти всех поставленных проблем в глобальном масштабе на государства должны быть возложены определенные обязанности, и часто выполнение этих обязанностей будет противоречить их эгоистическим интересам. Поэтому они будут выполняться только под внешним влиянием.

Будущее человеческой цивилизации зависит от того, смогут ли существующие государства обеспечить осуществление решения глобальных проблем. Мы уже отмечали, что участие государства в решении глобальных проблем определяется его социальной природой и той идеологией, которая лежит в основе его политики. Сейчас, например, видные экономисты считают, что это могут сделать только государства с социалистическим строем, поскольку для этого необходим жесткий контроль над экономикой страны.

Какие еще силы могут обеспечить осуществление решения глобальных проблем? Можно только утверждать, что современная наука находится на достаточно высоком уровне, чтобы указать более короткий путь к их решению. Организация внедрения этих решений — это большой вопрос интернационального характера. Представляется наиболее вероятным, что эти решения могут быть осуществлены только силами разума и определяться тем, сумеют ли руководящие силы государства правильно оценить те катастрофические последствия, которые произойдут для всего человечества, если эти проблемы не будут вовремя решены.

Сейчас, например, одна из наиболее актуальных задач — это проведение необходимых научных работ, которые, как указывалось, надо выполнить в срок, до наступления кризиса. Хватит ли времени? Это, конечно, зависит от того, как будут организованы эти работы. Чтобы обеспечить эффективность этих работ, надо направить на них лучшие интеллектуальные силы, поэтому их надо организовать в международном масштабе. Они должны быть также обеспечены в достаточном количестве материальными средствами.

Хорошо известно, что при современной производительности труда не больше 1/3 населения в развитых странах занято тем, что изготавливает все жизненно необходимое для всей страны. Большая часть избытка производительных сил тратится главным образом на военные расходы и на содержание армий, которые не

465

участвуют в производительном труде. Суммарно, для всех стран, эти затраты во много раз больше, чем тратится на научную работу. Казалось бы разумным перевести хоть часть этих средств и, главное, часть тех интеллектуальных сил, которые участвуют в разработке военных мероприятий, на организацию научных исследований для решения глобальных проблем. Это бы не сказалось на бюджетах стран и не привело к росту безработицы, так как в промышленности занятость бы сохранилась, но была бы направлена на другие задачи. Сейчас, когда международное сотрудничество все более развивается, можно надеяться, что такие мероприятия могут быть осуществлены и что разум возьмет верх. Но для этого нужно четко и убедительно поставить вопросы и их широко пропагандировать, и это должны делать ученые, так как именно они могут достаточно авторитетно говорить о возможности решения глобальных проблем для судеб всего человечества. Поэтому нужно не стоять в стороне от решения социальных проблем и сознавать их связь с той научной работой, которую ученые ведут.

Пример такого поведения ученого дал в свое время Бернал. Он был выдающимся ученым и в своих научных изысканиях и в общественных выступлениях неизменно отмечал связь науки с социальными проблемами. За это он получил всеобщее признание и благодарность.

ВЛИЯНИЕ СОВРЕМЕННЫХ НАУЧНЫХ ИДЕИ НА ОБЩЕСТВО

Доклад, представленный на Международный симпозиум, посвященный 100-летию со дня рождения А. Эйнштейна
1978

Тема, которую мы обсуждаем, интересна тем, что она касается роли науки в развитии и функционировании современного общества. Меня сейчас больше всего привлекают глобальные проблемы, практическое решение которых тесно связано с социальной структурой общества. О роли науки в этой области я и предполагаю говорить,

466

Конечно, большая роль науки в нашей цивилизации общепризнанна. Науку, по-видимому справедливо, даже называют производительной силой. История неизменно показывает, что практически любое крупное научное открытие или теория влияет на развитие цивилизации нашего общества.

В особенности это хорошо видно из следующих примеров. Казалось, небольшие по своим масштабам и вначале малоэффективные открытия, сделанные в продолжение прошлых двух веков Франклином, Гальвани, Эрстедом и Фарадеем в области электричества, и их теоретическое обобщение, сделанное Максвеллом, привели к современной электротехнике, на которой в основном зиждется быт и промышленное производство современной цивилизации.

Не менее ярко роль науки проявилась в изучении радиоактивности, открытой Беккерелем в 1896 г. Сперва его открытие воспринималось как любопытное, но малозначащее явление природы. Исследования супругов Кюри и Резерфорда показали, что это явление имеет фундаментальный характер и связано с процессами, происходящими в ядрах атомов. Со дня открытия этого явления прошло менее 100 лет, а оно уже дало человечеству наиболее мощный источник энергии, которому предстоит решить глобальный кризис, связанный с истощением энергетических ресурсов. Но ядерная энергия также дала в руки людям оружие такой уничтожающей силы, что боязнь его применения заставляет государства в корне изменить свое отношение к военным конфликтам.

Так непредсказуема и неожиданна связь между научными открытиями и их практическим применением, и это хорошо демонстрируется одной замечательной работой Эйнштейна. Я имею в виду его работу по индуцированному спектральному излучению, опубликованную в 1916 г. [1]. Я думаю, что не ошибусь, сказав, что из всех эйнштейновских работ эта публикация прошла наименее заметно, а теперь ее практическая ценность является несомненной.

Современный лазер, играющий теперь большую роль как в науке, так и в различных областях практики, как известно, основывается на явлении индуцированного излучения, его теоретическая природа была раскрыта Эйнштейном, в указанной работе еще в 1916 г, Техника

467

научного эксперимента была тогда достаточно высока, чтобы было возможным в те годы осуществить лазер, но это произошло лишь в 60-е годы. Приведенные примеры также показывают, что наука двигает практику только тогда, когда имеется тесное взаимодействие теории и эксперимента. Оторванность теории от опыта является причиной запаздывания с внедрением научного открытия в жизнь.

Говоря о роли науки, я думаю, следует более точно выяснить, что есть наука, так как сейчас, по-видимому, для придания значительности часто называют наукой то, что вовсе ею не является.

Конечно, понятие «наука» появилось давно, но ее современное понимание возникло только в XVI в. Схематически смысл понятия «наука» сейчас, я думаю, определяется следующим образом.

Хорошо известно, что люди, в отличие от животных, строят свое благосостояние, преобразуя природу, а не приспособляясь к ней, как остальной животный мир. Это всегда делалось коллективно, и таким образом возникло общество.

В основе эволюции, которой руководит «мудрость природы», лежит метод «проб и ошибок». Все те пробы, которые оказались в соответствии с требованиями эволюции, развивались. Это закон естественного отбора. Так создавалась окружающая нас природа, и так был создан человек, но, чтобы создать человека, потребовались миллионы лет.

Человек стал переделывать природу тоже путем «проб и ошибок». Но основным фактором, обеспечивающим эффективность этого процесса, заключается в том, чтобы не повторять ошибок и теоретически обобщать опыт найденных эмпирически полезных проб.

Так у человека возник механизм социального наследования. Этот механизм мог работать эффективно, если обеспечивалась возможность широкого распространения, сохранения и передачи опыта из поколения в поколение. Сперва это делалось установлением традиций, чему в значительной степени помогали обычаи, формировавшие религию. Конечно, возникновение письменности сыграло большую роль для сохранения накопленного опыта и более широкого распространения полезного опыта. Механизм социального наследования, приобретенный путем «проб и ошибок», стал наиболее эффективно влиять

468

на развитие цивилизации, когда он приобрел форму, которую мы теперь называем «наукой».

Вначале религия способствовала накоплению позитивных элементов приобретенного опыта и в этом смысле играла прогрессивную роль, но, в отличие от науки, ей не хватало объективности при обобщении полезных проб.

При использовании метода «проб и ошибок» приобретенный опыт становится научным, когда он обобщается на основе закона причинности — определенные причины всегда вызывают определенное следствие, поэтому каждая проблема имеет только одно решение. Таким образом устанавливается основное свойство научного обобщения, и его объективность делает его универсальным. И в этом его основное отличие от религии.

Поэтому только тогда толкование эмпирических факторов мы можем считать научным, когда это толкование становится объективным и получает возможность стать общепризнанным.

Как хорошо известно, религия свободно может пренебрегать законами причинности и потому отвечает на такие вопросы, которые не могут иметь научного решения, как, например, о сотворении мира, свободе воли, присутствии божественной силы и др. Вот почему религий может существовать множество, а наука только одна, как таблица умножения.

Наука как самостоятельная область в организации общества начала приобретать влияние в эпоху Возрождения. Наиболее ярко характер научного обобщения и его практическую значимость в то время охарактеризовал Фрэнсис Бэкон. Согласно Бэкону, полученные из наблюдений эмпирические данные для использования в науке обобщаются логическими методами — индукцией и дедукцией. Роль диалектики в развитии науки была показана позже, начиная с Канта и Гегеля. Значение научного познания природы как наиболее эффективного метода решения практических проблем Бэкон описал весьма образно: «Хромой калека, идущий по верной дороге, может обогнать рысака, если тот бежит по неправильному пути. Даже более того, чем быстрее бежит рысак, раз сбившись с пути, тем дальше оставит его за собой калека». Социальное значение науки Бэкон пророчески описал в своей «Новой Атланти-

469

де», где он дает утопическое описание государственной структуры, организованной на научной основе.

В это же время начинают возникать противоречия между религией и наукой. В особенности резко они проявляются в вопросах космогонии между учением католической церкви и научными работами Коперника и Галилея. Причина этих противоречий сейчас вполне понятна. Она заключается в том, что на одни и те же вопросы наука и религия дают разные ответы. Так, например, на вопрос о происхождении мира наука дает ответ, который отличается от принятого религией мифологического происхождения. Научное решение было строго основано на объективных законах механики, установленных Галилеем и теоретически обобщенных Ньютоном. Вселенная в описании Коперника противоречила картине, данной в Библии и принятой католической церковью. Эти противоречия подрывали авторитет церкви, на котором основывалась тогдашняя социальная структура и обеспечивалась прочность фундамента, на котором зиждилась власть. Противоречие между наукой и религией не только тормозило развитие науки, но часто принимало драматический характер и стоило ученым жизни, как было с Джордано Бруно, который погиб на костре.

Противоречия между наукой и религией продолжались до наших дней. Конечно, они не принимают таких резких форм, как было при Галилее и Копернике. Но даже в прошлом веке они достигали большой остроты, когда Дарвин установил закон эволюционного развития живой природы, происходящего путем естественного отбора. Он не побоялся распространить этот закон и на происхождение человека, несмотря на то,

что религия принимала, что человек был создан богом. Тут противоречия между наукой и религией приняли не меньшие масштабы, чем в вопросах мироздания, и тормозящее влияние религии привело к тому, что немало ученых поплатились своими научными должностями, хотя при этом человеческих жертв не было. Со временем эти противоречия начали принимать более миролюбивую форму. Сейчас делаются попытки сгладить противоречия между наукой и религией, исходя главным образом из того, что социальная функция религии зиждется сейчас не на тех вопросах, вокруг которых эти противоречия возникают. Таким образом ограничивается дивившееся

470

более трех столетий тормозящее влияние религии на науку.

Начиная с эпохи Возрождения в университетах, кроме преподавания богословия, передовые ученые могли все шире передавать свой опыт молодежи и в области естественных наук. Начало быстро расти количество университетов, и почти во всех странах Европы возникли академии наук, деятельность которых проходила в научном взаимодействии. Развивалась почтовая связь, и, конечно, книгопечатание содействовало интернациональному сотрудничеству ученых. Первый научный журнал появился в 1650 г., и, согласно исследованиям историка науки Д. Прайса [2], с этого времени количество научных журналов до наших дней в мире непрерывно растет в геометрической прогрессии, так что через каждые 10—15 лет количество журналов удваивается, и сейчас эти цифры близки к 100000.

В развитии научных дисциплин появилась некоторая очередность. Так, при Бэконе в основном развивались математика, физика, механика, химия и другие естественные науки; биология стала развиваться несколько позже.

В прошлом веке с развитием техники и промышленности возникли новые направления в науке, мы их сейчас называем прикладными. В особенности они были нужны при электрификации промышленности и быта. Стали также развиваться прикладные дисциплины, такие, как строительная механика, сопротивление материалов, техническая гидродинамика, металлургия и ряд других. Прикладные науки, хотя они и твердо стоят на основе фундаментальных наук (таких, как математика, физика, химия, механика), существуют самостоятельно, так как их содержание определяется той областью промышленности или техники, которую они обслуживают.

Если до XVIII столетия высшие учебные заведения, преимущественно университеты, развивали фундаментальные, или, как тогда говорили, чистые науки, то с конца XVIII в. начали создаваться высшие учебные заведения, часто называемые политехническими, которые развивали прикладные науки, и в них воспитывались инженеры, конструкторы, строители.

Первыми, кто широко стал создавать специальные инженерные высшие учебные заведения, были немцы.

471

Очевидно, этим и объясняется тот высокий уровень техники, в особенности электротехники, которого к концу прошлого века и к началу нашего достигла Германия. Тогда появились ученые-инженеры с мировым именем, такие, как Сименс, Арнольд, Уокер, Штейнмец, Стодола, Тесла, Леви и другие. Интересно, что уровень образования в этих технических учебных заведениях был настолько высок, что некоторые из окончивших их становились крупными учеными. Так, Эйнштейн окончил политехнический институт в Цюрихе. Такие крупные ученые, как П. Дирак, П. Ланжевен, П. Дебай, А. Ф. Иоффе, П. Н. Лебедев, А. Пуанкаре, Дж. Кокрофт и ряд других, тоже окончили инженерно-технические институты.

В наш век научный метод захватил новую область — это организация эффективного управления самим производством. В США она достигла самых высоких показателей в основном благодаря внедрению стандартизации и конвейерной сборки, придуманной Генри Фордом. Там же развился научный метод изучения самого процесса производства, разработанный Тейлором. Таким образом возникла прикладная научная область, которая называется «теорией управления». Теперь она тесно связана с использованием компьютеров, которые служат для установления функциональной зависимости между многочисленными факторами, от которых зависит эффективность процессов производства. Научный подход к процессам производства, созданный в США, по-видимому, объясняет тот высокий и пока непревзойденный уровень производительности труда, который там достигнут. Эта новая область прикладной науки теперь широко распространяется в других странах — как капиталистических, так и социалистических.

Но есть важная область, где наука влияет на развитие во многих странах с большим трудом. Это область общественных наук, которые изучают законы функционирования и развития общественных структур. В частности, практическая задача этих наук — осуществлять в стране эффективную организацию хозяйства. Казалось, если можно создать науку об организации производства в масштабах завода, то это же можно

.472

было бы сделать в масштабах государства. Эту область общественной науки обычно называют «политической экономией». Хотя она давно существует, но, с нашей точки зрения, она долго не могла считаться наукой, так как не обладала объективностью. Экономисты напоминали врачей, которые, исходя из имеющегося эмпирического опыта, указывают больному, как лечиться, при этом часто не понимая механизма, вызвавшего болезнь. Так, экономисты дают советы, как выходить из возникших затруднений, обычно не зная научных закономерностей, которые их создают.

Первый, кто нашел научный подход к экономике, был Карл Маркс. Его роль можно сравнить с ролью Ньютона, который, как хорошо известно, расширил в механике понятие силы, введя инерционные силы, и таким образом из условия равновесия нашел основной закон движения материальной среды. Маркс положил в основу экономических процессов движение капитала и выявил социальные процессы, которые вызывают его динамику. При этом понятие «капитал» Маркс расширил, определяя его величину не накопленными деньгами, а всеми общественными средствами производства и жизненными средствами, превратившимися в капитал.

Закономерности динамики роста совокупного национального богатства, найденные Марксом, действуют при разных социальных структурах. Эти закономерности вполне объективны, как и закон Ньютона в механике, поэтому они являются научными. Маркс исследовал эти закономерности, изучая экономику при капитализме. Основная закономерность, которую он нашел, приводит к тому, что величина роста капитала при производстве, основанном на наемном труде, определяется той прибылью, которую получает его владелец. Маркс показал, что при этом динамика роста капитала необходимо имеет неустойчивость, которая вызвана стихийной природой капиталистической экономики. Одна из главных причин неустойчивости капиталистической экономики заключается в том, что прибыль принадлежит капиталистам; таким образом, капитал может неограниченно концентрироваться у работодателя, и при этом неизбежно будет происходить обеднение рабочих. Маркс считал, что этот процесс в конечном счете приведет в странах с развитой промышленностью к обеднению пролетариата и к ситуации, которая разрешится револю-

473

цией. Тогда стихийная экономика будет заменена плановым народным хозяйством, подобным тому, которое будет иметь место при социализме.

Как показала история, в ведущих высокоразвитых капиталистических странах этого пока не произошло. Объясняется это тем, что хотя научное построение Маркса не было ошибочным, но Маркс исходил из той скорости роста капитала, которая была в его время, в прошлом веке. Благодаря научно-технической революции эта скорость стала быстро возрастать. Как известно, скорость роста капитала определяется производительностью труда, а она, в свою очередь, почти всецело определяется энергооснащенностью рабочего. При Марксе эта энергооснащенность была мала и во многом определялась мускульной силой рабочего. Сейчас положение существенно изменилось. В развитых странах на производстве физический труд составляет меньше 1% всех энергозатрат. Это привело к тому, что рост общего капитала в стране — «валового национального продукта», как его теперь называют, — стал настолько велик, что не происходит обеднения пролетариата в абсолютном смысле. Возникли, как теперь говорят, «богатые общества» (affluent society).

Маркс выявил еще одну причину, которая неизбежно приводит к неустойчивому росту экономики и которая также связана со стихийным характером капитализма. Маркс показал, что при капитализме капитал в стране растет неравномерно и периодически должны возникать кризисы, которые вызывают застой в производстве и безработицу. Механизм этих кризисов определяется тем, что рост любой отрасли промышленности определяется капиталовложениями. При капитализме размер этих вложений определяется той прибылью, которую капитал приносит, прибыль же определяется спросом. Когда в данной области промышленности рынок насыщается, прибыль падает, для равновесия должен падать в этой области и прирост капитала. Таким образом, между прибылью и капиталовложениями существует обратная связь.

Конечно, установление равновесия происходит с запозданием, которое называется релаксацией. Этот процесс приводит к колебаниям, имеющим характер периодических кризисов. В механике аналогичные процессы хорошо изучены и показано, каким образом они

474

приводят к автоколебаниям. Период и интенсивность этих колебаний в основном определяются эффективностью обратной связи. Гасить эти автоколебания можно, увеличивая эффективность обратной связи. Это достигается при плановом хозяйстве и имеет место при социализме. Сейчас это подтверждается тем, что в существующих социалистических странах при плановом контроле над капиталовложениями обратная связь настолько улучшилась, что хотя остается некоторая нестабильность, но она во много раз меньше, чем в капиталистических странах.

При капиталистическом строе с ростом производства, который был вызван в начале нашего века технической революцией, амплитуда колебательных процессов капиталовложений стала быстро возрастать; наконец, кризис 1929 г. достиг такого размера, что превратился в экономическую катастрофу.

Казалось бы, что для ликвидации кризиса надо было принять меры на основе научного анализа Маркса, ввести плановое хозяйство, но этого не произошло.

Поучительно вспомнить, как стали бороться с возникновением кризисов таких масштабов, как происшедший в 1929 г. Как известно, метод борьбы был предложен английским экономистом Дж. М. Кейнсом, Исключительно талантливый и широко образованный ученый, Кейнс начал свою научную карьеру как математик, работая в области теории вероятностей. Сперва он консультировал страховые общества, потом показал несостоятельность Версальского мирного договора и занялся экономикой в государственном масштабе. Кейнс знал и ценил работы Маркса, но, будучи прагматиком, он, конечно, понимал, что когда капитал находится в частных руках, борьба с кризисом может вестись в рамках существующего капиталистического общества. Конечно, согласно Марксу, эта борьба должна быть направлена против стихийного прироста капиталовложений. Поэтому надо было, насколько это практически возможно, ограничить его свободу и увеличить контроль государства над капиталом. Это можно было осуществить двумя путями. Во-первых, через подъем налогового обложения. Таким образом, часть прироста капитала попадала бы под контроль государства. Поскольку налогообложение всегда существовало во всех государствах, то, конечно, втихомолку его следовало увеличи-

475

вать. Второй путь, предложенный Кейнсом, оказался более оригинальным и смелым. Он заключался в том, чтобы, вопреки принятым правилам ведения финансов, сводить государственный бюджет с дефицитом, что, конечно, приводит к инфляции. Теоретическое объяснение этого процесса в том, что при инфляции мертвый капитал обесценивается. Конечно, это убыточно, поэтому инфляция приводит к стимуляции капиталовложений. Улучшается обратная связь, что приводит к развитию новых направлений промышленности. Действительно, как предполагал Кейнс, небольшая перманентная инфляция стала демпфировать кризисы.

Этот рецепт Кейнса легко был принят. Капиталистическое хозяйство в продолжение 40 лет значительно стабилизировалось. Кризисы происходили, но они были терпимых размеров. Три года назад этот рецепт неожиданно перестал действовать. Во всех капиталистических странах инфляция стала быстро расти и достигла таких масштабов, при которых нормальное развитие и функционирование национального хозяйства стали практически невозможными. Рост национального продукта уменьшился, возникла перманентная безработица, и при этом имеет место полная неустойчивость основных валютных курсов. За эти три года, несмотря на ряд попыток, не выявился эффективный метод борьбы с кризисом, и он начинает принимать хронический характер. Однако с достаточной достоверностью можно сказать, что происхождение глобальных кризисов определяется теми же законами, которые Маркс нашел для капиталистического хозяйства в масштабах одной страны. Действительно, нетрудно видеть, что за последние 40 лет произошли большие перемены в мировой экономике. Ряд областей промышленности и вложенный в них капитал стали принадлежать одновременно нескольким высокоразвитым странам. Эта связь привела к специализации промышленности в отдельных государствах, при этом возникла необходимость пользоваться сырьевыми базами и рабочей силой других стран. Общность капиталовложений привела к возникновению мультинациональных компаний.

Если за последние 40 лет в рамках одной страны путем налогового обложения и создания искусственной инфляции оказалось возможным контролировать динамику капитала в достаточной мере для стабилизации

476

Экономики, то в интернациональном масштабе этот метод становится непригодным. Это вызвано тем, что каждое государство не допускает вмешательства в свои дела и действует на основе своих национальных интересов, которые могут противоречить интересам других стран. Даже если бы правительства отдельных государств и смогли достичь договоренности относительно мероприятий по развитию экономики, то при свободе, предоставленной динамике частного капитала, обычно нет возможности проводить такие мероприятия в жизнь. Необходимость вести экономику отдельных стран согласованно в глобальном масштабе сейчас стала настолько остро чувствоваться, что уже начала происходить некоторая интеграция экономики ряда развитых стран, примером чему может служить создание в странах разных систем «Общего рынка» и СЭВ. Следует также отметить те научные исследования, которые были начаты Римским клубом, где тоже стали изучать стабильность существующих национальных экономических процессов в глобальном масштабе. Опубликованные по этим вопросам исследования [3], организованные Римским клубом, хотя и подвергаются постоянно критике, свидетельствуют о том, что научные исследования ведутся, несомненно, в правильном направлении и дают ценный материал для научного понимания происходящего кризиса.

Конечно, со временем будет найден путь для стабилизации экономики в глобальном масштабе. Согласно закономерностям, найденным Марксом, нужно только найти в каждой стране путь, посредством которого можно было бы взять капитал и его прибыль под эффективный государственный и общественный централизованный контроль. Только тогда правительства отдельных стран смогут договориться и начать проводить в жизнь согласованную экономическую политику. Что на практике международная стабилизация возможна при полном общественном контроле национального богатства, как это имеет место при социализме, доказывается существованием СЭВ.

Большинство ведущих экономистов уже согласны с тем, что плановый контроль над динамикой капиталовложений необходим при тех глобальных масштабах, которых сейчас достигла экономика благодаря высокой производительности труда в условиях научно-тех-

477

нической революции. Экономисты ищут эффективные мероприятия, подобные тем, которые предложил Кейнс, но при этом они стремятся по возможности сохранить принцип «[Laissez faire, laissez passer](#)», который лежит в основе капиталистического строя. Теперь начинают искать компромиссное решение; так возникла теория конвергенции, согласно которой при эволюционном развитии существующих социальных систем, как, например, считает Дж. Гэлбрейт, они со временем сольются в одну, которая сохранит их «лучшие стороны» и явится компромиссом между социализмом и капитализмом.

Интересно отметить, что к научным изысканиям Маркса, доказавшим необходимость создания плановой экономики, возникло предвзятое отношение, вызванное чувством страха перед социализмом, хотя эти работы Маркса в своей основе чисто научны и поэтому объективны и относиться к ним эмоционально нет основания. По-видимому, с научными выводами, сделанными Марксом, повторяется ситуация, аналогичная той, которая имела место в прошлые века, когда тормозилось развитие естественных наук, так как они подрывали авторитет церкви; развитие социальных наук сейчас тоже тормозится, поскольку они часто приводят к выводам, подрывающим авторитет государственной власти.

Несомненно, кроме вопроса о стабильной мировой экономике, в ближайшее столетие человечеству необходимо будет решить и ряд других глобальных проблем, связанных с мировым истощением традиционных энергетических и сырьевых ресурсов и загрязнением окружающей среды. Все эти проблемы могут быть эффективно решены только на строго научной базе и в интернациональном масштабе,

* * *

Люди живут замкнутым коллективом — обществом. Для человеческого общества характерна определенная система общественных институтов. Хотя сейчас институциональные формы в развитых государствах во многом сходны — все они имеют армию, полицию, денежное обращение, народное просвещение, которые находятся непосредственно в ведении государства, — все же они

различны по характеру социальной структуры и степени их культурного развития.

Ставится вопрос: чем определяется прогрессивность или отсталость какой-либо из существующих общественных структур? Какая из них находится на пути эволюционного роста человечества? Можно ли решить этот вопрос на научном основании, так, чтобы ответ был объективным и однозначным?

Попробуем разобрать эту задачу.

Культура людей делится на материальную и духовную. И та и другая может эволюционировать. Материальная культура общества определяется в основном совокупным национальным богатством, которым оно располагает. Сейчас принято считать, что экономически развитыми странами являются те страны, в которых валовой национальный продукт на человека в год превышает примерно 2000 долларов. Число людей во всех этих странах составляет около одной трети народонаселения земного шара. В этих странах в основном сосредоточена научная деятельность людей. Практически роль науки, как видно из приведенного анализа и как это считал еще Бэкон, заключается в организации человеческого труда так, чтобы обеспечить наиболее эффективный рост материальной культуры.

Что касается духовной культуры, то хотя она не имеет количественного измерения, но все же именно ею определяется эволюционный рост человечества, поскольку она делает человека хозяином природы. Между материальной и духовной культурами существует связь! духовная культура дает направление, в котором должно расти богатство государства с тем, чтобы обеспечить материальные потребности общества. Поэтому обычно принято считать материальную культуру тем базисом, на котором, как надстройка, развивается духовная культура.

Но это не умаляет роли духовной культуры в гармоничном развитии личности, что является основным фактором исторического прогресса человечества. Материальное богатство находится вне человека и со временем расходуется и должно возобновляться. Духовное богатство, как наука и искусство, передается из поколения в поколение и сохраняется, и поэтому оно может самостоятельно эволюционировать. Оно не имеет ограничения для своего роста. А для роста материаль-

ной культуры существует предел, он определяется нужными человеку пищевыми калориями, его гардеробом, величиной жилой площади и т. д. Сейчас этот предел в развитых странах вполне достигим.

Неограниченный рост материального потребления становится для человека вредным и тормозит его духовное развитие (например, погоня за вещами лишает человека духовных радостей и гармоничного развития, а чрезмерная еда приводит к ожирению). Поэтому люди, занятые интенсивным творческим трудом, обычно не тратят времени, чтобы хорошо себя обеспечить материально.

Стремление к росту материальных благ выше определенного предела приводит к тому, что людям приходится работать с большим напряжением, чем нормально выдерживает их нервная система. Организация труда при высокой производительности требует на производстве строго регламентированного поведения, что приводит к тому, что у рабочего нет свободы ни в выборе рода работы, ни в распорядке дня. Все это угнетающе действует на психику человека, и ему за высокое материальное благосостояние приходится расплачиваться своим духовным счастьем. Что это уже имеет место, подтверждается статистическими показателями. В ряде наиболее богатых стран, как, например, в США, ФРГ и др., возрастает число самоубийств. Конечно, это признак того, что количество несчастных людей увеличивается. Другой аналогичный показатель — увеличение в этих странах числа наркоманов и алкоголиков. Как известно, физиологическая роль наркотиков заключается в том, что они временно ограждают психику человека от давления окружающей жизни. В конечном итоге это приводит к тому, что социальная структура общества в своем прогрессивном эволюционном развитии для того, чтобы обеспечить наиболее счастливое существование людей, должна контролировать как величину, так и характер валового национального продукта. Это в корне противоречит принятой в указанных странах оценке уровня развития стран, который определяют по материальному благополучию населения, исходя только из величины валового национального продукта на человека.

Поскольку духовная культура обеспечивает людям наиболее счастливое существование, то в эволюцион-

ном развитии человечества она должна лежать в основе оценки прогрессивности социального строя страны.

Духовная жизнь человека складывается из трех элементов: это личная жизнь, его связь с обществом (в основном с людьми, с которыми он живет и работает) и его деятельность как гражданина государства. Удовлетворение запросов личной жизни для каждого человека имеет индивидуальный характер. Он определяется природными способностями человека и теми требованиями, которые к нему предъявляет общество своей этикой и традициями. На научной основе эти процессы могут изучаться психологами. Наиболее успешно это делали Павлов и Фрейд, но практическое значение таких исследований ограничивается их применением в лечебной психиатрии. Пока нет общепризнанных представлений об объективных закономерностях, на которых должно основываться развитие духовной культуры человека и общества. Но важно и хорошо известно, что духовное счастье человека связано с чувством свободы. Человек хочет свободно выбирать себе мужа или жену, друзей, занятие, религию и миролюбиво жить.

В современном развитом обществе для достижения высокой материальной культуры необходима такая высокая производительность труда, которая, как уже указывалось, создает для работы и жизни человека условия, ограничивающие свободу его самостоятельных действий.

Особенно ярко это видно на примере конвейерного производства, где творческий труд фактически отсутствует. При той высокой степени организованности, которую сейчас приобретает повседневная жизнь человека, многое строго регламентировано, и человек постоянно связан. Для него возникают трудности в выборе любимой профессии или в перемене видов профессиональной деятельности, как правило, строго регламентируется рабочий день, даже форма одежды и т. д.

Наконец, человек в государстве должен соблюдать его законы, а в обществе — жить соответственно его традициям и даже в случае войны убивать людей. После некоторого достигнутого благосостояния люди в «обществе изобилия», как было показано, начинают с ростом богатства терять свободу, и уже сейчас в таких развитых странах свобода человека очень ограничена.

481

Такого рода общество стремится так организовать жизнь людей, чтобы при отсутствии свободы они не теряли ощущения ее существования. Это достигается путем пропаганды, отвлечением интересов людей в сторону спорта, секса, зрелищ, чтобы этим отвлекать людей от действительности. На таких принципах организовано общество в романе-антиутопии О. Хаксли «Прекрасный новый мир».

Цивилизация государства определяется не только теми общественными и экономическими процессами, которые происходят в его границах, но также международными связями, влияющими на развитие культуры. Об экономических связях мы уже говорили, но не меньшую роль играют связи в области духовной культуры.

Процессы, связанные с развитием человеческой культуры, изучаются историей. С нашей точки зрения, историю (как описание эмпирической последовательности событий, процессов развития той или иной страны, народа, государства и т. д.) нельзя считать наукой в принятом нами определении этого понятия, так как она занимается не выявлением объективных закономерностей как таковых, а их проявлением в уникальных и неповторимых событиях. Такие исторические процессы, как установление власти, классовые противоречия, экспансия и пр., всегда связаны и с эмоциональной деятельностью не только отдельного человека, но и целых коллективов. По мнению Ж. Пиаже, эти процессы не поддаются полностью объективному научному изучению.

Но все же у людей имеется возможность оказывать влияние на эмоциональную деятельность человека, организовывать эту деятельность. Наиболее эффективно это делает искусство. У всех народов и во все времена искусство играло большую организующую роль. Оно развивалось и передавалось из поколения в поколение и, как наука, является национальным культурным наследием. Музыка, например, сопровождает основные эмоциональные этапы жизни человека.

Особо сильное влияние на развитие духовной культуры общества оказывают изобразительные искусства и литература. Они влияют на эмоции, воздействующие на установление морали и этики как в личных взаимоотношениях людей, так и в социальных.

Существует некоторое сходство между влиянием науки и искусства на организацию общественной жизни,

482

Как указывалось выше, настоящие научные законы, которые являются обобщением опыта, неизменны во времени и приняты интернационально.

Аналогично и искусство является художественным обобщением процессов, происходящих в жизни людей и общества. Настоящее большое произведение искусства, которое эффективно влияет на рост духовной культуры, не может определяться какой-либо политической конъюнктурой, поэтому становится интернациональным и является постоянным по времени. В художественной литературе произведения таких больших писателей, как Сервантес, Шекспир, Толстой, в продолжение сотен лет имеют на человека мировое влияние. То же имеет место в изобразительном искусстве. Вспомним картины и скульптуры Тициана, Микеланджело, Гойи, Рембрандта... Или в музыке — произведения Бетховена, Моцарта, Шопена, Мусоргского...

Таким образом, влияние искусства на рост культуры всего человечества по крайней мере так же велико, как влияние науки. Недаром французский писатель Жан Кокто говорил: «Поэзия необходима, но почему — я не знаю».

Если теперь постараться ответить на поставленный нами в начале вопрос, какая общественная структура государства в эволюционном развитии человечества является передовой, то, я думаю, есть полное основание считать, что эта оценка должна быть поставлена в зависимость от качества духовной культуры страны и степени гармоничности развития личности. Поскольку процесс эволюции человечества происходит во времени путем соревнования между различными социальными системами, в конечном итоге будут выживать те государства, в которых духовная культура соответствует требованиям эволюционного развития человечества, а человек в наибольшей степени может стать всесторонне развитым существом. В результате в ходе социальной эволюции произойдет своего рода отбор не только между общественными системами, но и внутри них — в пользу наиболее всесторонне развитых творческих личностей, соответствующих запросам прогрессивного развития общества.

Будущее покажет, как выявятся эти закономерности и насколько человечество сможет управлять этими процессами,

483

ЛИТЕРАТУРА

1. *Einstein A.* Strahlungs-Emission und Absorption nach der Quanten-theorie. — *Verhandl. Dtsch. Phys. Ges.*, 1916, № 18, S. 318.
2. *Price D.* Little Science, Big Science. — N. Y., 1963, (Перевод: *Прайс Д.* Малая наука, большая наука. — В сб.: Наука о науке. — М.: Прогресс, 1966.)
3. *Meadows D. H., Meadows D. L., Randers J., Behrens W. W., III.* The Limits to Growth. — N. Y.: University Books, 1972, *Mesarovic M., Pestel E.* Mankind at Turning Point, — N. Y., 1974, 484

БИБЛИОГРАФИЯ ТРУДОВ П. Л. КАПИЦЫ

1. Инерция электронов в амперовых молекулярных токах. — *ЖРФХО*, сер. физ., 1916, т. 48, с. 297.
2. Приготовление волластоновских нитей. — *ЖРФХО*, сер. физ., 1916, т. 48, с. 324.
3. Метод отражения от кристаллов. — *Вестник рентг. и радиолог.*, 1919, т. 1, с. 33,
4. Регистрирующий микрофотометр Коха, — *Вестник рентг. и радиолог.*, 1919, т. 1, с. 54.
5. Зависимость границы лучеиспускания в сплошном рентгеновском спектре от азимута испускания и влияние металла антикатада — *УФН*, 1921, т. 2, с. 322.
6. On the possibility of an experimental determination of the magnetic moment of an atom. — *ЖРФХО*, сер. физ., 1922, т. 50, с. 159, (Совместно с Н. Н. Семеновым.)
7. The loss of energy of an α -ray beam in its passage through matter. Part I. Passage through air and CO₂. — *Proc. Roy. Soc.*, 1922 v A102, p. 48.
8. Note on the curved tracks of β -particles. — *Proc. Camb. Phil. Soc* 1922, v. 21, p. 129.
9. On the theory of δ -radiation. — *Phil. Mag.*, 1923, v. 45, p. 989.
10. Some observations on α -particle tracks in a magnetic field. — *Proc. Camb. Phil. Soc.*, 1923, v. 21, p. 511.
11. A method of producing strong magnetic fields. — *Proc. Roy. Soc.*, 1924, v. A105, p. 691.

12. α -ray tracks in a strong magnetic field. — Proc. Roy. Soc., 1924, v, A106, p. 602.
13. The Zeeman effect in strong magnetic fields. — Nature, 1924, v. 114, p. 273. (With H. W. B. Skinner.)
14. The Zeeman effect in strong magnetic fields. — Proc. Roy. Soc 1925, v. A109, p. 224. (With H. W. B. Skinner.)
15. Over-tension in a condenser battery during a sudden discharge — Proc. Camb. Phil. Soc., 1926, v. 23, p. 144.
16. Further developments of the method of obtaining strong magnetic fields. — Proc. Roy. Soc., 1927, v. A115, p. 658.
17. The study of the specific resistance of bismuth crystals and its change in strong magnetic fields and some allied problems, — Proc. Roy. Soc.» 1928, v. A119, p. 358,
485
18. The change of electrical conductivity in strong magnetic fields. — Proc. Roy. Soc., 1929, v. A123, p. 292.
19. Magnetostriction and the phenomena of the Curie point, — Proc. Roy, Soc., 1929, v, A124, p. 1, (With R. H. Fowler.)
20. Die metallische Leitfähigkeit und ihre Veränderung im magnetischen Feld, — Metallwirtschaft, 1929, H. 19, S. 443.
21. A property of superconducting metals, — Nature, 1929, v. 123, p. 870.
22. Magnetostriction of diamagnetic substances in strong magnetic fields, — Nature, 1929, v, 124, p. 53.
23. The change of resistance of gold crystals at very low temperatures in a magnetic field and supra-conductivity, — Proc, Roy. Soc., 1930, v. A126, p. 683; Phys. Zs., 1930, Bd. 31, S. 713.
24. Methods of experimenting in strong magnetic fields, — Proc. Phys. Soc., 1930, v, 42, p. 425.
25. Экспериментальные исследования в сильных магнитных полях. — УФН, 1931, т. 11, с. 533,
26. The study of the magnetic properties of matter in strong magnetic fields, Part 1. The balance and its properties, Part 2. The measurement of magnetization, — Proc, Roy, Soc., 1931, v, A131, p. 224.
27. A method of measuring magnetic susceptibilities. — Proc. Roy. Soc., 1931, v. A132, p. 442. (With W. L. Webster.)
28. Erwiderung auf einige Bemerkungen von O. Stierstadt über einen prinzipiellen Fehler bei meinen Messungen über die Widerstandsänderung in starken Magnetfeldern, — Zs, f, Physik, 1931, Bd. 69, S, 421.
29. The study of the magnetic properties of matter in strong magnetic fields. Part 3. Magnetostriction. Part 4. The method of measuring magnetostriction in strong magnetic fields. Part 5. Experiments on magnetostriction in dia- and paramagnetic substances. — Proc, Roy. Soc., 1932, v, A135, p, 538.
30. Hydrogen liquefaction plant at the Royal Society Mond laboratory. — Nature, 1932, v, 129, p, 224, (With J. D. Cockcroft.)
31. The change of resistance of metals in magnetic fields, — In: Leipziger Vortrage 1933, Magnetismus, — Leipzig, S, Hirzel, 1933, S. 1.
32. The reflection of electrons from standing light waves. — Proc, Camb. Phil, Soc., 1933, v. 29, p. 297. (With P. A. M, Dirac.)
33. Liquefaction of helium by an adiabatic method without precooling with liquid hydrogen. — Nature, 1934, v, 133, p. 708,
34. The liquefaction of helium by an adiabatic method, — Proc. Roy. Soc., 1934, v, A147, p. 189,
35. Адиабатический метод ожижения гелия, — УФН, 1936, т, 16, с. 145,
36. A modified potentiometer for measuring very small resistances. — J. Sci. Instruments, 1937, v. 14, p. 165. (With G. J. Milner.)
37. Note on the use of liquid nitrogen in magnetic experiments, — J, Sci, Instruments, 1937, v. 14, p. 201. (With C. J. Milner.)
486
38. Вязкость жидкого гелия при температурах ниже лямбда-точки. — ДАН СССР, 1938, т, 18, с, 21; Nature, 1938, v. 141, p. 74.
39. Явление Зеемана и явление Пашена — Бака в сильных магнитных полях. — ЖЭТФ, 1938, т. 8, с. 276; Proc. Roy. Soc., 1938, v. A167, p. 1. (Совместно с П. Г. Стрелковым и Э. Лаурманом.)

40. Турбодетандер для получения низких температур и его применение для ожижения воздуха. — ЖТФ, 1939, т. 9, с. 99.
 41. Устойчивость и переход через критические обороты быстро вращающихся роторов при наличии трения. — ЖТФ, 1939, т. 9, с. 124.
 42. Исследование механизма теплопередачи в гелии-II.—ЖЭТФ, 1941, т. 11, с. 1,
 43. Теплоперенос и сверхтекучесть гелия-II.—ЖЭТФ, 1941, т. 11, с. 58.
 44. Проблемы интенсификации технологических процессов кислородом. — Кислород, 1944, № 1, с. 1,
 45. О статье проф. С. Я. Герша «Низкие и высокие давления в системах глубокого охлаждения». — Вестник машиностроения, 1944, № 7—8, с. 43.
 46. О сверхтекучести жидкого гелия-II. — УФН, 1944, т. 26, с. 133,
 47. Теоретические и эмпирические выражения для теплопередачи в двумерном турбулентном потоке. — ДАН СССР, 1947, т. 55, с. 595.
 48. Волновое течение тонких слоев вязкой жидкости. Часть I. Свободное течение. — ЖЭТФ, 1948, т. 18, с. 3.
 49. Волновое течение тонких слоев вязкой жидкости. Часть II. Течение в соприкосновении с потоком газа и теплопередача. — ЖЭТФ, 1948, т. 18, с. 19,
 50. Волновое течение тонких слоев вязкой жидкости. Часть III. Опытное изучение волнового режима течения, — ЖЭТФ, 1949, т. 19, с. 105, (Совместно с С. П. Капицей.)
 51. К вопросу об образовании ветром морских волн, — ДАН СССР, 1949, т. 64, с. 513,
 52. Динамическая устойчивость маятника при колеблющейся точке подвеса, — ЖЭТФ, 1951, т. 21, с. 588.
 53. Маятник с вибрирующим подвесом. — УФН, 1951, т. 44, с. 7,
 54. Вычисление сумм отрицательных четных степеней корней бесселевых функций.—ДАН СССР, 1951, т. 77, с. 561,
 55. Теплопроводность и диффузия в жидкой среде при периодическом течении. I. Определение величины коэффициента волнового переноса в трубе, в щели и в канале. — ЖЭТФ, 1951, т. 21, с. 964.
 56. Гидродинамическая теория смазки при качении.—ЖТФ, 1955, т. 25, с. 747.
 57. О природе шаровой молнии,— ДАН СССР, 1955, т. 101, с. 245,
 58. Расчет гелиевого ожижительного цикла с каскадным включением детандеров. — ЖТФ, 1959, т. 29, с. 427.
- 487
59. Статические граничные задачи для полого цилиндра конечной длины. — ЖТФ, 1959, т. 29, с. 1177. (Совместно с В. А. Фоком и Л. А. Вайнштейном.)
 60. Симметричные электрические колебания идеально проводящего полого цилиндра конечной длины.— ЖТФ, 1959, т. 29, с. 1188. (Совместно с В. А. Фоком и Л. А. Вайнштейном.)
 61. Детандерная установка для ожижения гелия. — ЖТФ, 1961, т. 31, с. 486. (Совместно с И. Б. Даниловым.)
 62. Детандерный ожижитель гелия каскадного типа без посторонних хладоагентов. — ЖТФ, 1962, т. 32, с. 457. (Совместно с И. Б. Даниловым.)
 63. Электроника больших мощностей. — Сб. Электроника больших мощностей. — М.: Изд-во АН СССР, 1962, с. 9.
 64. Собственные колебания объемных резонаторов. — Сб. Электроника больших] мощностей. — М.: Изд-во АН СССР, 1962, с. 159.
 65. Теория электронных процессов в магнетронном генераторе непрерывной мощности. — Сб. Электроника больших мощностей, № 3. — М.: Наука, 1964, с. 7. (Совместно с С. И. Филимоновым и С. П. Капицей.)
 66. Преобразователи волн H в волны E . — Сб. Электроника больших мощностей, № 4. — М.: Наука, 1965, с. 7.
 67. Экспериментальное изучение преобразователя. — Сб. Электроника больших мощностей, №4. — М.: Наука, 1965, с. 53. (Совместно с Л. А. Прозоровой.)
 68. Абсолютные измерения высокочастотного поля в резонаторе. — Сб. Электроника больших мощностей, № 4. — М.: Наука, 1965, с. 206.
 69. Новые преобразователи волны H_{01} .—Сб. Электроника больших мощностей, № 5. — М.: Наука, 1968, с. 209. (Совместно с Л. А. Прозоровой.)

70. Соленоид, создающий магнитное поле до 30 кЭ в объеме 5 л и потребляющий 500 кВт. — УФН, 1968, т. 95, с. 35. (Совместно с С. И. Филимоновым.)
71. Шаровая молния и радиоизлучение линейных молний.—ЖТФ, 1968, т. 38, с. 1829.
72. Cascade helium liquefiers with piston type engines. — The proceedings of the first cryogenic engineering conference. — L.: Heywood Temple Industrial Publications, 1968, p. 228. (With I. V. Danilov.)
73. Двухрядный ниготрон большой непрерывной мощности. — Сб. Электроника больших мощностей, № 6. —М.: Наука, 1969, с. 7. (Совместно с С. И. Филимоновым и С. П. Капицей.)
74. Свободный плазменный шнур в высокочастотном поле при высоком давлении. — ЖЭТФ, 1969, т. 57, с. 1801.
488
75. Термоядерный реактор со свободно парящим в высокочастотном поле плазменным шнуром. — ЖЭТФ, 1970, т. 58, с. 377.
76. Установка для получения свободного плазменного шнура. Определение тока и сопротивления шнура. — ЖЭТФ, 1971, т. 61, с. 1016. (Совместно с С. И. Филимоновым.)
77. Нагрев плазмы магнитоакустическими колебаниями. — ЖЭТФ, 1974, т. 67, с. 1411. (Совместно с Л. П. Питаевским.)
78. Полезное получение энергии от термоядерных реакторов. — Письма в ЖЭТФ, 1975, т. 22, с. 20,
489

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Авиценна 329
- Аксаков К. С. 324
- Аллибон Т. Э. 317
- Андреев Н. Н. 213
- Анна Иоанновна 331
- Араго Д. Ф. 237
- Арнольд Б. 472
- Архимед 237, 329
- Асламазов Л. Г. 238
- Астон Ф. У, 405
- Барбюс А. 368
- Бардин Дж. 32
- Бардин И. П. 56—58
- Барнетт С. Д. 84, 85, 87
- Бейли 53
- Бекетов Н. П. 328
- Беккерель А. Э. 274, 348, 403, 467
- Белинский В. Г. 324
- Белл А. Г. 153
- Белоцерковский О. М. 260
- Бернал Дж. 399, 402, 466
- Бернулли Д. 212, 264, 326, 331, 336, 339
- Бертолле К. Л, 52
- Бетховен Л. 483
- Бирон Э. И. 331
- Блэккетт П. М. С. 289, 317
- Бобылев Д. К. 212
- Больцман Л. 81, 82, 89, 364
- Бор Н. 27, 89, 267, 271, 276, 283, 284, 293, 301, 305, 310—313, 315, 316, 375, 382, 383
- Борн М. 303
- Боровик-Романов А. С, 220

Бородин А. П. 160
Боте В. 286
Боттичелли С, 320
Браге Т. 329
Бройль Л. де 257, 263, 362,365—367
Бруно Дж. 470
Бурсиан В. Р. 379, 382
Бэкон Ф. 330, 448, 469, 471, 479, 490
Вавилов С. И. 213, 324, 328
Вальден П. И. 324, 327
Ван-дер-Ваальс И. Д. 93
Вейс П. 89, 90
Вейхард Г. Г. 382
Вильсон Б. 352, 359
Вильсон Ч. Т. Р. 141
Виноградов В. В. 179
Виссери 358, 359
Вольта А. 51, 346
Вольф Х. 331, 339
Воронцов М. И. 326
Гааз В. И. де 85, 87, 93
Гагарин Ю. А. 177
Галилей Г. 81, 329, 337, 361, 372, 373, 470
Гальвани Л. 50, 51, 346, 402, 467
Ган О. 403
Гаусс К. Ф. 354, 355
Гегель Г. 469
Гейгер Г. В. 276, 281—283, 296
Гейзенберг В. К. 27, 375
Гейланд К. В. П. 60
Геллер А. 327
Гендель Г. Ф. 198
Георг III 359
Герлах В. 5, 90
Герней Р. У. 91
Герц Г. Р. 24, 273, 403
Герцен А. И. 324
Гесс В. Ф. 403
Гилл Э. 311, 313—315
Гильотен Ж. 361
Гитлер А. 303, 314, 392
Гойя Ф. 483
Голицын Б. Б. 212
Гортер К. Я. 93
Гофер Ф. 327
Гэлбрейт Дж. 478
Гюйгенс Х. 190, 292, 329, 337,
348, 361, 410
Далибар Т. Ф. 352
Дальтон Дж. 273, 276
Дарвин Ч. 372, 378, 470
Дебай П, 30, 257, 263, 366, 382, 472

Декарт Р. 329, 361
Джинс Дж. Х. 318, 319
Джозефсон Б. Д. 96
Джоуль Дж. П. 276
Дивиш П. 357
Димитров Г, М. 368
Дирак П. А. М. 27, 366, 380, 472
Добролюбов Н. А. 324
Дрейфус А. 302, 368
Дробанцева К. Т. 384
Дьюар Дж. 19, 53
Дэви Г. 26, 341
Дюкло Ж, 369
Екатерина I 331
Екатерина II 331
Жолио-Кюри Ф. 362
Жолио-Кюри, супруги 286, 287
Жуковский Н. Е. 154
Завойский Е. К. 95
Золя Э. 368
Зоммерфельд А. 382
Иоффе А. Ф. 5, 80, 84, 101, 149, 213, 265, 268, 270, 345, 382, 383, 472
Кавендиш Г. 354—356
Кальете Л. 52
Камерлинг-Оннес Г. 18, 19, 31, 32, 92, 93, 138, 139 Кант Э. 469
Капица П. Л. 5—12, 312—316
Капица С. П. 73
Кеезом В. Х. 33—35, 37, 93
Кейзен К. 428
Кейнс Дж. М. 475—476, 478
Кельвин У. 195, 275
Кеплер И. 329
Кикоин И. К. 36
Кинан С. 215, 217
Клер Р. 400
Клод Ж. 60
Ключевский В. О. 23
Кокрофт Дж. Д. 137, 277, 289, 472
Кокто Ж. 483
Коллинзон П. 349—351
Колумб Х. 142
Комаров В, Л, 324
Коперник Н. 329, 341, 470
Корреджо А. А. 320
Костенко М. П. 134
Коттон Э. 14, 90, 95, 134
Кравец Т. П. 328
Краевич К. Д. 237
Кроу Дж. Р. 296
Крукс У. 281
Крутков Ю. А. 379, 382
Кук Дж. 361

Кулон Ш. О. 354—356
Купер Л. 32
Курнаков Н. С. 154
Курчатов И. В. 182
Кюри П. 89, 323, 364, 367
Кюри, супруги 141, 271, 467
Лаваль К. Г, П. 60
Лавуазье А. Л. 51, 52, 334. 405
Лазарев Б. Г. 36
Лазарев П. П. 345 .
 Ландау И. Л. 384
Ландау Л, Д. 12, 46, 107, 380—389
Ландольт Х. Г. 405
Ланжевен П. 12, 89, 274 301— 303, 362—371, 414, 472
Лаплас П. С. 354, 355
Лебедев П. Н. 212, 323, 345. 472
Левенгук А. 343 Леви М. 472
Лейбниц Г. В. 334, 361
Ленгмюр И. 122, 398
Ленин В. И. 419
Ленц Э. Х. 403
Леонардо да Винчи 320
Линде К. 53—55
Лифшиц Е. М. 384, 386—387
Лифшиц И. М. 92, 386
Лобачевский Н. И. 257, 262
Лодж О. 405
Лойцянский Л. Г, 49
Ломброзо Ч. 307
Ломоносов М. В. 165, 212, 324—345, 353, 361, 405
Лондон Ф. 94
Лоренц Х. А. 93, 304, 373, 382
Льюис У. Б. 317
Лэмб Г. 295
Любимов Н. А. 328
Людовик XVI 361
Майер Ю. Р. 153
Майкельсон А. А. 373, 403
Мак.-Леннан Д. К. 92, 274

491

Максвелл Дж. К. 81, 82, 85, 87, 127, 190, 257, 264, 290, 291, 295, 320, 323, 354, 355, 373, 403, 467
Мандельштам Л. И. 213
Мансхолт С. 428
Марат Ж. П. 359
Марков А. А. 382
Маркс К. 320, 419, 420, 473—478
Маркузе Г. 396
Марсден Э. 282, 283, 293
Мартос И. П. 324
Медичи Лоренцо 311

Медоуз Д. Л. 423
Медоуз Д. Х. 423
Мейснер В. Ф. 92
Мейтнер Л. 403
Менделеев Д. И. 257, 262
Меншуткин Б. Н. 324, 326, 328, 333, 334
Месмер Ф. 361
Микеланджело Б. 311, 320, 372, 483
Милликеи Р. Э. 301
Минковский Г. 373
Мозли Г. 299, 300
Монгольфье, братья 361
Морли Э. У. 373, 403
Моцарт В. А. 483
Мусоргский М. П. 483
Неганов Б. С. 94
Несмеянов А. Н. 182
Нолле, аббат: 352
Ньютон И. 81, 153, 163, 173, 190 236, 292, 329, 334, 337—339, 348, 355, 361, 372, 373, 375, 404, 410, 420, 470, 473
Обреимов И. В. 383
Олифаит М. 289, 317
Ом Г. С. 355, 356
Орлов Г. Г. 326
Оствальд В. Ф. 364
Павлов И. П. 12, 372, 376—379, 419, 453, 481
Пайерлс Р. 383
Парсонс Ч. 60, 104
Пастер Л. 372
Пенфилд У. Г. 384
Петр I 211, 326, 331
Петров В. В. 340—343

492

Петрушевский Ф. Ф. 212
Пиаже Ж. 482
Пикар О. 95
Пикассо П. 236
Пикте Р. П. 52, 53
Писарев Д. И. 324
Питаевский Л. П. 387
Пифагор 329
Планк М. 26, 284, 375
Пойнтинг Дж. Г. 100
Попов А. С. 212
Прайс Д. 210, 471
Прингль Дж. 359
Пристли Дж. 51, 52
Пуанкаре А. 373, 472
Пуассон С. Д. 354, 355
Пупин М. 307

Пушкин А. С. 324, 328, 329
Радищев А. Н. 324
Разумовский К. Г. 335
Рассел Б. 390, 394
Рафаэль 320
Резерфорд Э. 5, 7, 11, 12, 26, 88,
90, 92, 133, 151, 268, 271—323,
348, 367, 384, 400, 467
Рембрандт 163, 236, 483
Рентген В. К. 24, 84, 382
Ричардсон О. В. 84
Рихман Г. В. 333, 334, 353
Робеспьер М. 359
Рождественский Д. С. 345, 382
Розенбергер Ф. 327
Роллан Р. 368
Роуланд Г. А. 84
Рубенс П. П. 173
Румовский С. Я. 326, 338
Рэлей Дж. У. 61, 156, 290, 320, 323
Семенов Н. Н. 5, 160, 161, 401, 402
Сервантес М. 483
Сименс Э. В. 153, 472
Сковорода Г. С. 296
Слободецкий И. Ш. 238
Содди Ф. 275
Соломон Ж. 369
Спенсер Г. 401
Стеклов В. А. 382
Стодола Л. 170, 472
Стокс Дж. Г. 257, 263, 264
Столетов А. Г. 212, 374
Страдивариус А. 195
Сцилард Л. 303
Тарле Е. В. 23
Таунсенд Дж. С. Э. 274, 281
Тейлор Ф. У. 472
Тельман Э. 368
Тесла Н. 472
Тинторетто Я. 320
Тициан 320, 483
Толстой Л. Н. 483
Томсон Дж. Дж. 26, 141, 142, 274, 276, 282, 290, 292, 295, 320, 367, 403
Тэн И. 320
Тюрго А. Р. Ж. 345
Умов Н. А. 100, 212
Уокер М. 134, 472
Уолтон Э. Т. С. 277
Фарадей М. 24, 52, 82; 153, 174, 246, 271, 277, 288, 292, 293, 378, 402, 403, 467
Фаулер Р. Г. 366
Фезер Н. 317
Ферми Э. 380, 400

Ферсман А. Е. 324
Физо А. И. Л. 373
Филимонов С. И. 73
Фок В. А. 73
Форд Г. 472
Форрестер Дж. У. 423
Франк Дж. 303
Франклин В. 292, 293, 333, 343, 345—362, 402, 467
Фредерике В. К. 379, 382
Фрейд З. 293, 419, 453, 481
Фридман А. А. 374, 379—380
Фролов И. Т. 394
Хаббл Э. П. 374, 379
Хаксли О. 247, 250, 417, 482
Хвольсон О. Д. 328
Хьюз 314, 315
Ципенюк Ю. М. 211
Чадвик Дж. 277, 286, 287, 289, 295, 297, 298, 317
Чаплин Ч. С. 251, 400
Чаплыгин С. А. 154
Чебышёв П. Л. 382
Чернов Д. К. 154
Чернышевский Н. Г. 324
Черчилль У. 303
Чехов А. П. 304
Шееле К. В. 51, 52
Шекспир У. 97, 318, 483
Шёнберг Д. 317
Шмидт О. Ю. 173
Шонланд Б. Ф. 360
Шопен Ф. 483
Шпольский Э. В. 213
Шредингер Э. 27, 257, 263, 366, 367
Шриффер Дж. 32
Штейнмец Ч. П. 472
Штерн О. 5, 90, 303
Шубин Ф. И. 325
Шувалов И. И. 326
Эдисон Т. А. 153
Эдриан Э. Д. 182
Эзертон П. 215, 217
Эйзенштейн С. М. 400
Эйлер Л. 193, 212, 292, 326, 331, 332, 335, 337—339, 341, 348
Эйнштейн А. 26, 27, 30, 85, 87, 194, 236, 267, 284, 305, 364, 365, 370, 372—376, 403—405, 467, 472
Эйхенвальд А. А. 84, 212
Эллис Ч. 289, 295, 317
Энгельс Ф. 419
Эпстайн Дж. 311
Эренфест П. 93, 304—306, 876, 382
Эрстед Х. К. 402, 403, 467

**) Чтобы обеспечить возможность дальнейшего развития атомной энергетики в штате Калифорния, ассамблея штата приняла перед самым референдумом, 3 июня 1976 г., ряд законов, которыми установила строгий контроль над обеспечением безопасности атомных электростанций (проектирование и эксплуатация), включая возможное их строительство под землей. Также в законодательном порядке устанавливалась необходимость обеспечения безопасности в обращении с ядерным горючим и его шлаками. Эти мероприятия оказали влияние на исход референдума, проведенного 8 июня 1976 г., и на дальнейшее развитие ядерной энергетики не был наложен запрет [7].*

**) Пусть идет, как идет (франц.),*