

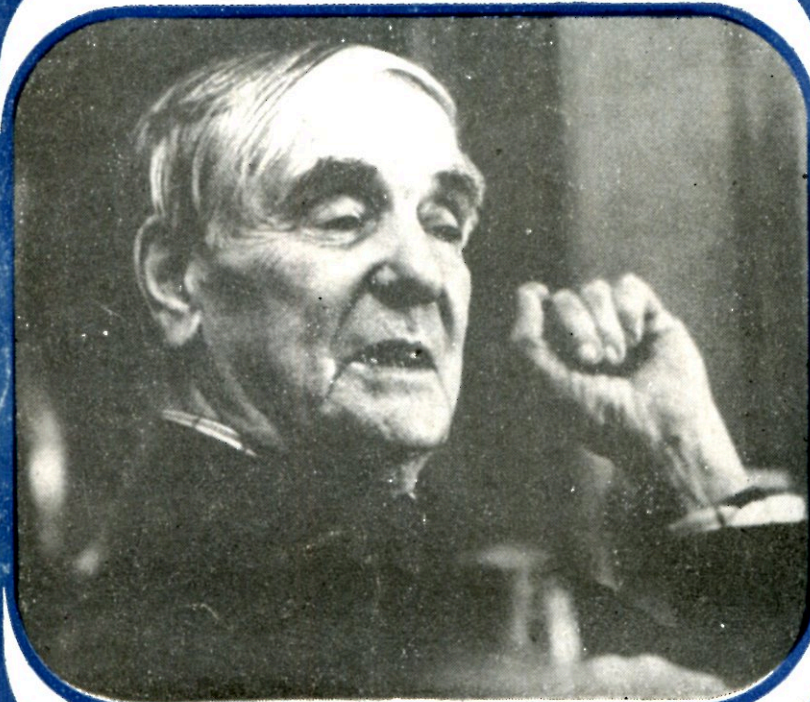
ЗНАНИЕ

НОВОЕ
В ЖИЗНИ,
НАУКЕ,
ТЕХНИКЕ

СЕРИЯ
ФИЗИКА

7'79

**АКАДЕМИК
ПЕТР
ЛЕОНИДОВИЧ
КАПИЦА**



И. Капица

НОВОЕ
В ЖИЗНИ,
НАУКЕ,
ТЕХНИКЕ

Серия
«Физика»
№ 7, 1979 г.

Издается
ежемесячно
с 1946 г.

АКАДЕМИК
ПЕТР
ЛЕОНИДОВИЧ
КАПИЦА
СБОРНИК СТАТЕЙ

Издательство
«Знание»
Москва
1979

А 38 Академик Петр Леонидович Капица. Сборник статей. М., «Знание», 1979.

64 с. (Новое в жизни, науке, технике. Серия «Физика», 7. Издается ежемесячно с 1946 г.)

Сборник, посвященный лауреату Нобелевской премии по физике 1978 г. П. Л. Капице, открывается статьей академика А. С. Боровика-Романова, содержащей обзор научных работ П. Л. Капицы, его фундаментальных изобретений и открытий в области физики низких температур, отмеченных Нобелевской премией. В сборник включена статья П. Л. Капицы «Вязкость жидкого гелия при температурах ниже точки λ », которая положила начало новой области физики — физике квантовых жидкостей. О значении этой работы пишет академик Е. М. Лифшиц в статье «Рождение физики квантовых жидкостей».

В очерке П. Е. Рубинина «Главное событие Нобелевской недели П. Л. Капицы» рассказывается о том, как проходила церемония вручения Нобелевских премий 1978 г.

В сборнике публикуется Нобелевская лекция П. Л. Капицы «Плазма и управляемая термоядерная реакция». Кроме того, с разрешения редакции журнала «Вопросы философии» в брошюру включен опубликованный в № 1 за 1979 г. текст выступления П. Л. Капицы на организованном ЮНЕСКО в 1978 г. в г. Ульме (ФРГ) симпозиуме, посвященном 100-летию со дня рождения Альберта Эйнштейна. В нем академик П. Л. Капица главное внимание уделяет интересующим его в последнее время глобальным проблемам. Данное выступление по форме и характеру изложения рассчитано главным образом на восприятие зарубежными учеными, присутствовавшими на симпозиуме в г. Ульме.

Брошюра рассчитана на широкий круг читателей.

20401

22.3г

А. С. БОРОВИК-РОМАНОВ

НОБЕЛЕВСКАЯ ПРЕМИЯ ПО ФИЗИКЕ — П. Л. КАПИЦЕ *

Нобелевская премия по физике присуждена академику Петру Леонидовичу Капице за фундаментальные изобретения и открытия в области физики низких температур.

Петр Леонидович — крупнейший физик-экспериментатор, сочетающий талант ученого с изобретательностью инженера. Он родился в Кронштадте 9 июля 1894 г. Его отец был военным инженером. Петр Леонидович окончил в 1918 г. электромеханический факультет Петроградского политехнического института и начал свою научную работу в этом институте на кафедре А. Ф. Иоффе.

В 1921 г. П. Л. Капица был направлен в научную командировку в Англию. Здесь он работал в Кавендишской лаборатории Кембриджского университета. Директором этой лаборатории был Э. Резерфорд, с которым Петра Леонидовича связала большая дружба. С 1924 по 1932 г. Петр Леонидович был заместителем Резерфорда по Кавендишской лаборатории. В те годы лаборатория Резерфорда была крупнейшим в мире центром по изучению атомного ядра. Здесь были разработаны основные методы исследования процессов радиоактивного излучения. Одним из таких методов было наблюдение «вылетающих» при радиоактивном распаде заряженных частиц с помощью камеры Вильсона, в которой траектория пролетевшей частицы обнаруживается по следу из сконденсировавшихся капелек тумана. Петр Леонидович был первым, кто поместил камеру Вильсона в сильное магнитное поле и наблюдал искривление траекторий α -частиц.

Исследования явлений, протекающих в сильных маг-

* © Издательство «Наука», «Природа», 1979 г.

нитных полях, составили важный этап в научной деятельности П. Л. Капицы. В них проявился характерный для Петра Леонидовича революционный подход к каждой проблеме, за которую он брался. Вместо того чтобы идти проторенным путем, увеличивая размеры широко применявшихся лабораторных электромагнитов с железными сердечниками, он выдвинул идею использовать катушки без сердечников и пропускать через них колоссальные токи в десятки тысяч ампер. Чтобы при пропускании такого тока катушка не расплавилась от нагрева, Петр Леонидович предложил пропускать ток в течение очень короткого времени и проводить исследования в импульсных магнитных полях, так как для изучения очень многих явлений достаточно времени, меньше чем 1 мс. В процессе создания установки для получения импульсных магнитных полей Петр Леонидович разработал оригинальные решения целого ряда возникших при этом технических задач: создание накопителя, который в течение 0,01 с давал мощность около 200 МВт; размыкание электрической цепи, по которой течет ток в тысячи ампер; создание механически прочных катушек. Была также разработана аппаратура для физических исследований в импульсных полях.

В процессе экспериментов с сильными магнитными полями Петром Леонидовичем был в 1928 г. открыт закон линейного, по величине магнитного поля, возрастания электросопротивления металлов. Это экспериментальное открытие на 30 лет опередило развитие теоретических представлений о характере движения электронов в металлах, представлений, с помощью которых такая неожиданная аномалия была объяснена. Исследования свойств металлов в сильных магнитных полях логически привели П. Л. Капицу к необходимости перенести эти исследования в область возможно более низких температур.

Такие температуры в те годы получали с помощью жидкого гелия. Для этого использовались ожижители гелия, работающие на основе эффекта Джоуля—Томсона — охлаждения газа при его дросселировании, т. е. при пропускании газа через вентиль с поддержанием на нем большого перепада давления. Как известно, эффект Джоуля—Томсона связан с неидеальностью газа и приводит к его охлаждению только в том случае, когда его температура ниже так называемой температуры

инверсии Для гелия эта температура составляет около 50 К. Поэтому в ожижителях гелия, работающих на основе эффекта Джоуля—Томсона, необходимо иметь предварительную ступень охлаждения гелия жидким водородом.

П. Л. Капица создал установку для ожижения гелия, в которой охлаждение газа происходило благодаря совершенно внешней работы при его адиабатическом расширении в специальном детандере — поршневой машине. Это во много раз более эффективный, термодинамически наиболее выгодный метод; он не требует предварительного охлаждения газа жидким водородом. Однако для его реализации необходимо было решить, казалось бы, неразрешимую задачу — найти материал для смазки, работающий при столь низких температурах. Петр Леонидович использовал с этой целью сам газообразный гелий, оставив зазор в 35 мкм между стенкой поршня и цилиндром. Чтобы поршень при этом не заклинивался, на нем было сделано несколько кольцевых канавок, по которым выравнивалось давление газа на стенку цилиндра. Первый такой ожижитель был построен П. Л. Капицей в 1934 г.; сейчас по этому принципу строятся практически все ожижители, и их выпускает целый ряд промышленных фирм в разных странах по несколько сот машин в год. Эти крупные успехи П. Л. Капицы побудили Лондонское королевское общество организовать в 1930 г. специальную лабораторию им. Монда для работы в области низких температур и сильных магнитных полей, директором которой был назначен Петр Леонидович.

Другое изобретение Петра Леонидовича в области ожижителей было сделано после того, как в 1934 г. он вернулся из Англии в Москву. Здесь он организовал Институт физических проблем, который был оснащен полученным из Англии оборудованием, включая и построенные Петром Леонидовичем установки для создания сильных магнитных полей и ожижения гелия. В новом институте Петр Леонидович обращается к проблеме создания машины для ожижения воздуха с использованием только цикла низкого давления. В этом случае оказалось возможным использовать турбомашин (турбокомпрессор и турбодетандер), что было характерно для многих областей техники, где переход к большим мощностям сопровождался заменой поршневых

установок турбинными. Этот принцип П. Л. Капица применил и в установках для ожижения воздуха с целью промышленного получения кислорода. В результате проведенных им исследований был найден оптимальный тип турбины для работы с холодным газом сравнительно большой плотности. Разработанный П. Л. Капицей высокоэффективный радиальный турбодетандер с КПД 80—85% предопределил развитие во всем мире современных крупных установок разделения воздуха для получения кислорода. Можно отметить, что использование турбодетандера в установках по получению газообразного кислорода из воздуха дало нашей стране экономию в сотни миллионов рублей. Таковы два важных изобретения в области низких температур, о которых говорится в решении Нобелевского комитета.

Фундаментальные открытия Петра Леонидовича в области низких температур были сделаны в процессе изучения им аномальных свойств жидкого гелия. Эти исследования проводились в Институте физических проблем в конце 30-х гг. Тогда П. Л. Капица поставил целый ряд необычайно изящных и тонких экспериментов. Один из них описан в его статье 1938 г., которая воспроизводится в этом сборнике; о других можно прочесть в книге П. Л. Капицы «Эксперимент, теория, практика», написанной ясно, увлекательно и живо.

Первый этап этих исследований завершился открытием в 1937 г. сверхтекучести жидкого гелия при температурах ниже 2,19 К. Петр Леонидович назвал жидкий гелий сверхтекучим потому, что, как он показал, вязкость гелия при протекании через тонкие капилляры и щели оказывается настолько меньше вязкости самой маловязкой жидкости, что ее нужно считать равной нулю. Следующий важный шаг в изучении аномальных свойств жидкого гелия был сделан в опытах по изучению распространения потока тепла от нагревателя, помещенного в замкнутый объем гелия. Здесь Петр Леонидович показал, что в гелии происходят одновременно два макроскопических движения с разными свойствами; одно движение оказывает воздействие на тело, помещенное в поток, а другое не оказывает.

Экспериментальные результаты, полученные Петром Леонидовичем, не могли быть объяснены в рамках существовавших тогда представлений. Они послужили основой для развития совершенно нового направления в

физике — физики квантовых жидкостей. Квантовомеханическая теория сверхтекучести была построена Л. Д. Ландау, работавшим в тесном содружестве с Петром Леонидовичем. Теория полностью объяснила его эксперименты и подтвердила справедливость сделанного им предположения о существовании двух частей (компонент) жидкого гелия с различными свойствами. При этом из квантовой механики следовал еще более неожиданный вывод, чем это мог предположить П. Л. Капица. Он считал, что два движения гелия разделены в пространстве. Оказалось, что нормальная и аномальная компоненты как бы перемешаны друг с другом и их встречное движение происходит во всей массе жидкости. Таким образом, эксперименты П. Л. Капицы на многие годы определили развитие экспериментальной и теоретической физики низких температур.

В процессе проведения своих экспериментов Петр Леонидович обнаружил следующий важный факт: при передаче тепла от твердого тела к жидкому гелию на границе их раздела возникает скачок температуры, получивший название скачка Капицы. Величина скачка резко растет с понижением температуры. Это явление играет важнейшую роль при получении температур порядка 10^{-3} К и ниже.

Открытие П. Л. Капицей явления сверхтекучести пролило свет и на остававшееся в то время необъясненным явление сверхпроводимости. Сверхпроводимость стали трактовать как сверхтекучесть электронного газа, что оказало плодотворное влияние на развитие теории этого явления.

Заключая краткий обзор работ Петра Леонидовича по физике жидкого гелия, на этом примере хочется подчеркнуть особенности «стиля» Капицы в науке. Прежде всего Петр Леонидович неизменно подчеркивает первостепенную важность эксперимента. Эксперимент нужно стремиться поставить так, чтобы он привел к обнаружению новых фактов, на основании которых можно сделать утверждения, не зависящие от существующих теоретических представлений. Особенно ценной является такая работа, результаты которой противоречат существующим представлениям. Экспериментальную работу, которая только подтверждает существующие предсказания теории, Петр Леонидович часто в шутку называет «закрытием». Залог успешного эксперимента —

это создание оригинальной аппаратуры, которая позволяет наблюдать исследуемое явление в новых условиях.

В конце 40-х гг. П. Л. Капица обращается к совершенно новому кругу физических задач — к вопросу о создании мощных генераторов СВЧ-колебаний непрерывного действия. Решив сложную математическую задачу о движении электрона в СВЧ-генераторах магнетронного типа, Петр Леонидович конструирует СВЧ-генераторы нового типа — планотрон и ниготрон. Построенный им в 1966—1967 гг. ниготрон имел рекордную мощность — 175 кВт в непрерывном режиме. Создание таких мощных генераторов позволило П. Л. Капице выдвинуть идею о передаче электроэнергии больших мощностей на значительные расстояния с помощью радиоволн. Несомненно, этот вопрос будет со временем поставлен на повестку дня большой энергетики.

Используя созданные им генераторы больших мощностей, Петр Леонидович построил установку, состоящую из генератора и присоединенного к нему резонатора СВЧ-колебаний. Наполняя резонатор различными газами (гелием, водородом, дейтерием) под давлением в несколько атмосфер, он обнаружил, что в центре камеры, где электрическое поле СВЧ-колебаний максимально, в газе возникает шнуровой разряд. В настоящее время Петр Леонидович увлеченно работает над изучением этого разряда. Применяя различные методы диагностики плазмы, он показал, что температура электронов в этом плазменном шнуре очень велика (больше 1 млн. град.). Эти работы П. Л. Капицы открыли новый подход к решению задачи о создании термоядерного реактора.

Оценивая инженерные достижения Петра Леонидовича, хочется обратить внимание читателя на то, что такие его изобретения, как генераторы импульсных магнитных полей, детандерный ожижитель гелия, турбодетандерная установка для получения кислорода, не только не устарели за прошедшие 40—50 лет, но, наоборот, с каждым годом все шире используются в науке и промышленности. Такое не часто встречается в наш век бурного развития техники.

Говоря о Петре Леонидовиче, нельзя ограничиться только его научными и инженерными заслугами. П. Л. Капица — выдающийся организатор науки. Он создал

превосходный физический институт — Институт физических проблем — и руководит им; он является членом президиума Академии наук СССР; руководит ведущим советским журналом по физике («Журнал экспериментальной и теоретической физики»). Петр Леонидович уделяет много внимания поискам наиболее прогрессивных методов организации такого тонкого и сложного процесса, каким является научное творчество. В тесной связи с этим вопросом стоит вопрос о воспитании и отборе творческой молодежи для научной работы, которому П. Л. Капица уделяет много внимания. Он был одним из инициаторов создания Московского физико-технического института (МФТИ) и является председателем координационного совета этого института. Несмотря на свою занятость, Петр Леонидович всегда сам проводит заседания государственной экзаменационной комиссии по защите дипломов студентами МФТИ, выполнивших свою дипломную работу в Институте физических проблем. Он также всегда сам принимает вступительные экзамены в аспирантуру и к каждому экзамену составляет набор задач для экзаменующихся. П. Л. Капица — крупный общественный деятель. Его волнуют все аспекты развития человеческого общества. Он неоднократно выступал на многих международных форумах по таким жгучим вопросам развития человеческого общества, как энергетический кризис, проблема загрязнения окружающей среды, проблема разоружения.

Несмотря на большое количество обязанностей, Петр Леонидович проводит много времени в своей лаборатории, где он работает над изучением проблемы получения горячей плазмы. Присуждение ему Нобелевской премии — справедливое признание заслуг этого выдающегося человека. Все его друзья, коллеги, ученые и люди самых разных специальностей сердечно поздравляют лауреата с заслуженной наградой и желают ему всего наилучшего.

**ВЯЗКОСТЬ ЖИДКОГО ГЕЛИЯ ПРИ ТЕМПЕРАТУРАХ
НИЖЕ ТОЧКИ λ ¹**

Жидкий гелий при понижении давления, достигая температуры 2,19 К, переходит в другую модификацию, называемую гелий II; она имеет ряд интересных свойств. Одно из самых замечательных было недавно открыто Кеезомом [1]. Оно заключается в том, что теплопроводность ее в 3 млн. раз превышает теплопроводность обычной модификации, называемой гелий I. Другие работы по изучению этой теплопроводности, произведенные Алленом, Пейрлсом и Уддином [2], показали, что она отличается от обычной еще и тем, что зависит, например, от градиента температуры.

Для объяснения этих аномальных явлений мне казалось, что возможно сделать предположение, что эта теплопроводность не есть истинная, а происходит благодаря конвекционным потокам. Но для возникновения и существования этих конвекционных потоков необходимо, чтобы гелий II обладал исключительно малой вязкостью. До сих пор известны только одни измерения вязкости гелия, произведенные в Торонто [3]. При этих измерениях было найдено, что при переходе из модификации I в модификацию II происходит только незначительное уменьшение вязкости гелия. Так, вязкость ниже точки λ в 3 раза меньше, чем вязкость гелия при нормальном давлении (4,22 К), и в 8 раз меньше вязкости перед λ -точкой перехода (2,40 К). К сожалению, в этих измерениях не было выяснено, являлось ли движение ламинарным или турбулентным. Это важно знать, так как жидкий гелий является жидкостью с удельным весом $\rho=0,15$, незначительно отличающимся от удельного веса обычной жидкости, в то время как его вязкость μ того же порядка, как и у газов. Этот факт делает кинематическую вязкость $\nu=\mu/\rho$ исключительно малой сравнительно со всеми известными жидкостями. Вследствие этого, если вязкость гелия изучается в обычных вискозиметрах, надо особенно внимательно следить, чтобы рейнольдсовское число не достигало больших значений, чтобы сохранить движение жидкости ламинарным. В особенности при том методе, кото-

¹ Доклады АН СССР, 1938, № 1.

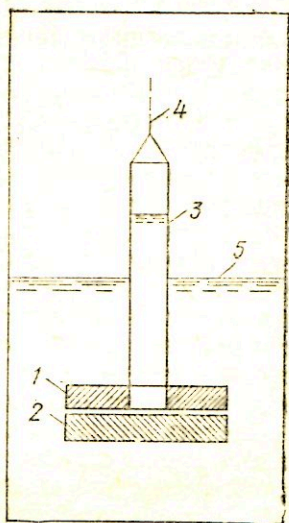
рый был выбран работниками в Торонто — наблюдения за погашением колебаний жидкости в аксиально-осциллирующем цилиндре, — рейнольдсовское число должно иметь исключительно малое значение, так как в такого рода движениях особенно легко возникает турбулентное состояние.

Подсчитывая условия эксперимента в Торонто, можно показать, что эти условия совсем не были выполнены, и можно с уверенностью сказать, что результаты их относятся к вихревому движению, вследствие чего полученные величины для вязкости жидкого гелия не соответствуют истинным и могут быть во сколько угодно раз больше².

Измерения вязкости жидкого гелия — трудная задача ввиду необходимости создания такого метода, в котором можно было бы сохранять ламинарное движение даже при его малой кинематической вязкости.

Мы разработали следующий метод, при котором можно мерить вязкость жидкостей с гораздо меньшей кинематической вязкостью, чем обычно. Схематически прибор показан на рисунке.

Вязкость измерялась по разности давлений жидкостей, текущих в очень узком щелевом зазоре, образуемом между двумя дисками — 1 и 2. Эти диски были сделаны из оптического отшлифованного стекла, и расстояние между ними могло устанавливаться посред-



² Пример вязкости гелия I показал, что в пределах от 4,22 К до λ -точки (2,19 К) она не зависит от температуры в пределах 5% и величина ее приблизительно равна $11 \cdot 10^{-6}$. Это дает экспериментальное подтверждение тому, что вязкость, полученная в Торонто, даже для гелия I гораздо выше действительной. Температурная же зависимость ее, наблюдаемая в Торонто, по-видимому, объясняется увеличением плотности гелия по мере понижения температуры к точке λ : увеличение плотности увеличивает турбулентность, производя кажущееся увеличение вязкости.

вом прокладок из слюды. Внешний диаметр дисков был 3 см, и отверстие в верхнем диске — 1,5 см. Над этим отверстием ставилась трубка 3. Посредством ниточки 4 весь этот прибор мог опускаться и подниматься в жидком гелии, и уровень жидкости в трубке 3 мог быть установлен выше или ниже уровня жидкости 5 в окружающем дьюаре. Количество протекающей жидкости и давление столба измерялись катетометром.

Измерения дали с самого начала интересные результаты. Например, в случае, когда диски 1 и 2 были прижаты друг к другу без слюдяных прокладок — по интерференционным полосам можно было видеть, что образовавшаяся щель была порядка 0,5 мкм, — тогда гелий I протекал еще еле заметно: на протяжении нескольких минут наблюдения высота столбика в трубке 3 менялась лишь на долю миллиметра. В случае же гелия II наблюдалось сильное протекание, и уровень выравнивался в течение нескольких секунд.

Из числовых данных измерений можно было заключить, что вязкость гелия модификации II по крайней мере в 1500 раз меньше, чем гелия модификации I при 4,22 К. Экспериментальные данные также показывают, что в случае гелия II разность давления на краях щели пропорциональна квадрату скорости течения гелия через щель. Это показывает, что и в нашем случае движение потока гелия в щели было еще турбулентным. Но если мы все-таки вычислим вязкость, считая движение ламинарным, мы получим ее порядка 10^{-9} в абсолютных единицах, что, очевидно, представляет собой верхний предел возможной вязкости, в то время как истинная вязкость может быть во сколько угодно раз меньше. Из этих данных мы можем установить также нижний предел для рейнольдсовского числа, которое получается равным 50 000. Это показывает, что турбулентное движение еще свободно могло происходить и в нашем тонком зазоре.

Мы теперь разрабатываем метод, при котором надеемся иметь возможность установить еще более низкий предел для вязкости гелия II, но уже и те результаты, которые нами получены, кажутся достаточно значительными, так как жидкий гелий II, имея вязкость 10^{-9} , уже обладает вязкостью, по крайней мере в 10 000 раз меньшей, чем водород в газообразном состоянии при самой низкой температуре, при которой вязкость

его имеет наименьшее значение. Как известно, вязкость газообразного водорода считалась наименьшей измеренной вязкостью, известной для какой-либо текучей среды. Мне кажется, что этого предела уже достаточно, чтобы по сравнению с явлением сверхпроводимости считать, что жидкий гелий ниже точки λ принимает особую модификацию, которую ввиду ее исключительно малой вязкости можно было бы назвать «сверхтекучей».

Как мы уже указывали, такой исключительной текучестью гелия II, по-видимому, поддерживается то объяснение ненормальной теплопроводности жидкого гелия II и тех аномалий, о которых говорилось в начале заметки. Очевидно, что турбулентное движение гелия II, которое может в нем возникнуть благодаря всем техническим манипуляциям, которые с ним производят во время опыта, ввиду его большой текучести не будет гаситься даже в капиллярных трубках, которые употребляются для измерения теплопроводности. Такое вихревое движение, конечно, будет гораздо более действенно производить теплопередачу. При этой большой текучести гелия II будут также легко возникать конвекционные потоки; величина их будет зависеть от разности температур, при которой измеряется теплопроводность. Таким образом можно будет объяснить зависимость теплопроводности гелия от температурного градиента, наблюдаемую Алленом, Пейрлсом и Уддином.

ЛИТЕРАТУРА

1. Physica, 3, 359 (1936).
2. Nature, 140, 62 (1937).
3. Burton, Nature, 135, 265 (1935); Wilhelm, Misener and Clark, Proc. Roy. Soc., A. 151, 342 (1935).

Е. М. ЛИФШИЦ *

РОЖДЕНИЕ ФИЗИКИ КВАНТОВЫХ ЖИДКОСТЕЙ

Без всякого преувеличения можно сказать, что именно воспроизведенная здесь статья Петра Леонидовича Капицы положила начало новой области науки —

* © Издательство «Наука», «Природа», 1979 г.

физике квантовых жидкостей. Эта область пережила за истекшие десятилетия бурное развитие и продолжает развиваться. Несомненно, что это развитие оказало революционизирующее влияние и на другие области физики — физику твердого тела и даже на физику ядра.

Напомним основные факты, предшествовавшие открытию П. Л. Капицы и составляющие тот фон, на котором можно понять роль его работы.

Жидкий гелий — единственное вещество, которое может оставаться жидким при охлаждении вплоть до абсолютного нуля: все другие вещества в конце концов затвердевают. Между тем согласно «классическим» представлениям при абсолютном нуле все атомы вещества должны были бы остановиться, т. е. занять определенные положения внутри тела (это и означает, что тело было бы твердым).

Уже это обстоятельство — первое свидетельство того, что свойства жидкого гелия могут быть поняты только на основе совершенно иных представлений, а именно представлений квантовой механики. Хорошо известно, что этой механике подчиняются явления микромира — мира атомов и молекул. В данном же случае мы имеем дело не с отдельными микроскопическими частицами, а с макроскопическим телом, состоящим из огромного числа атомов. В известном смысле можно сказать, что в таких телах при обычных температурах квантовые свойства как бы заслоняются хаотическим тепловым движением частиц. Лишь при самых низких температурах, когда интенсивность этого движения становится слабой, проявляются глубокие квантовые свойства вещества. Все вещества, за исключением только гелия, затвердевают прежде, чем их квантовые свойства успевают в достаточной мере выявиться. Один лишь гелий может стать «квантовым» до своего затвердевания, а после этого он уже вообще не обязан затвердевать, так как в квантовой механике несправедливо утверждение о полной остановке движения атомов при абсолютном нуле температуры. Таким образом, жидкий гелий является уникальным объектом, который природа предоставила в распоряжение физиков для изучения «квантовой жидкости».

Гелий (при атмосферном давлении) переходит в жидкое состояние при абсолютной температуре 4,2 К. При температуре же 2,2 К гелий, оставаясь жидким,

претерпевает еще одно превращение. Оно было первоначально открыто Г. Камерлинг-Оннесом в 1926 г. по скачкообразному изменению теплоемкости этой жидкости. Жидкий гелий при температурах выше точки превращения получил название гелий I, а ниже — гелий II. Именно последний и оказался жидкостью, совершенно исключительной по своим свойствам.

Первое указание на эти свойства было получено в 1936 г. в Лейдене В. Кеезомом и мисс Кеезом в работе, упомянутой в начале статьи П. Л. Капицы. Они обнаружили, что разность температур между концами заполненного гелием капилляра выравнивается чрезвычайно быстро, так что гелий II оказывается как бы наилучшим из известных нам проводников тепла.

Но решающий шаг в раскрытии свойств жидкого гелия был сделан в 1937 г. П. Л. Капицей в воспроизведенной здесь статье. Его эксперимент имел целью измерение вязкости жидкого гелия. Он описан в статье с простотой и ясностью, не требующими комментариев. Но хочется в особенности отметить исключительную идейную простоту этого эксперимента, ведущего к цели наиболее прямым путем. Не подтверждается ли здесь общее, по-видимому, правило — внутренняя простота великих шагов на пути познания нового?

В этой статье впервые появляется слово «сверхтекучесть», и здесь же впервые высказывается предположение, что большая теплопроводность жидкого гелия представляет собой в действительности не первичное его свойство, а является следствием сверхтекучести, приводящей к легкому возникновению конвективных потоков.

В последующие несколько лет П. Л. Капица провел обширное экспериментальное исследование механизма теплопередачи в жидком гелии с позиций его сверхтекучести. Эти исследования привели к установлению основных свойств данного явления и дали надежное основание для построения теории сверхтекучести.

Упомянем здесь лишь один из наиболее наглядных опытов. Было обнаружено, что если перед отверстием сосуда, наполненного жидким гелием (и погруженного в жидкий гелий), подвесить легкое крылышко, то при нагревании гелия в сосуде крылышко отклоняется. Тем самым непосредственно доказывается связь процесса

теплопередачи в гелии с возникновением движения в нем. Но это движение имеет весьма парадоксальный характер: из отверстия вырывается струя жидкости, отклоняющая крылышко, и в то же время количество жидкости в сосуде не меняется, он остается полным. Таким образом, необходимо было предположить, что одновременно с вытекающей струей имеет место также и какой-то «противопоток» жидкости. Другими словами, здесь было впервые получено экспериментальное указание на два одновременно происходящих в жидкости движения. Это свойство, не укладывающееся в «классические» представления, послужило, как мы знаем теперь, основой для понимания явлений в сверхтекучей жидкости.

Уже сказано, что эксперименты Капицы явились фундаментом для построения теории сверхтекучести. Это было сделано в 1940—1941 гг. Львом Давидовичем Ландау, работавшим в тесном контакте с П. Л. Капицей.

Изложение теории Ландау не входит в задачу этих кратких комментариев к статье Капицы. Отметим лишь, что теория сверхтекучести была создана с самого начала с замечательной полнотой: уже в первой статье Ландау содержатся почти все основные идеи как микроскопической теории жидкого гелия, так и построенной на ее основе макроскопической теории — термодинамики и гидродинамики этой жидкости. Несомненно, что такой успех был в значительной степени обязан тесной связью между параллельно протекающими работами замечательного экспериментатора и замечательного теоретика. Две статьи Капицы с изложением его экспериментальных исследований и статья с изложением теории Ландау были опубликованы в одном и том же XI томе «Журнала экспериментальной и теоретической физики» в 1941 г. и, без сомнения, должны быть причислены к классическим произведениям физики.

Комментируя воспроизведенную здесь статью Капицы, упомянем лишь об одном из результатов теории. В статье говорится о противоречии между результатами автора и результатами экспериментов в Торонто, давших для вязкости гелия II хотя и малое, но вполне конечное значение. Мы знаем теперь, что это различие не было в действительности результатом ошибки и было связано лишь с различием в примененных методах из-

мерения. Согласно теории явления в жидком гелии II можно наглядно описывать так, как если бы эта жидкость представляла собой смесь двух «компонент», которые могут двигаться независимо, «одна сквозь другую». По свойствам этих двух движений компоненты принято называть сверхтекучей и нормальной; движение нормальной компоненты аналогично движению обычных жидкостей. При вращении погруженного в жидкость цилиндра он испытывает трение о ее «нормальную» часть, и, таким образом, в опытах в Торонто измерялась, по существу, вязкость именно этой компоненты. В опытах же Капицы с узкой щелью между двумя дисками через щель протекает сверхтекучая часть гелия, между тем как обладающая вязкостью нормальная компонента задерживается щелью, «просачиваясь» через нее весьма медленно; таким образом в этом опыте обнаруживается отсутствие вязкости у сверхтекучей компоненты.

Наконец, вернемся еще раз к началу этих комментариев. Значительный шаг в познании природы, в построении физической теории почти всегда становится возможным лишь после достижения определенного уровня наших опытных сведений о природе. Фантазия природы значительно превосходит воображение человека, даже гениального. В этом смысле не случайно, что теория квантовых жидкостей возникла и начала быстро развиваться лишь после экспериментального открытия сверхтекучести жидкого гелия. Явление сверхпроводимости металлов было открыто задолго до сверхтекучести. Мы знаем теперь, что сверхпроводимость — это сверхтекучесть квантовой «электронной жидкости» в металле. Но сверхпроводимость оставалась необъясненной вплоть до 1957 г. Для ее объяснения потребовались как общие представления теории Ландау, так и новая идея — о «спаривании» электронов, в результате которого электронная жидкость приобретает свойства, до некоторой степени аналогичные свойствам жидкого гелия. В этом смысле можно сказать, что в жидком гелии свойство сверхтекучести выявлено в более чистом виде, чем в явлении сверхпроводимости. Не приходится удивляться поэтому, что решительный сдвиг в нашем понимании квантовых свойств макроскопических тел возник лишь после открытия и объяснения сверхтекучести жидкого гелия.

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 ожигения гелия, т. е. несколько градусов выше абсолютно го нуля. По воле судеб случилось так, что от этих работ я отошел уже более 30 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 extrêmes 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 над управляемым термоядерным синтезом 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

¹ Нобелевская лекция, прочитанная академиком П. Л. Капицей в Шведской академии наук. Стокгольм, 8 декабря 1978 г.

© The Nobel Foundation.

источником энергии. Несомненно, это вызывает некоторое недоумение.

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 предварительнo 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 100 лет назад. Уже сейчас энергия, получаемая в реакторах в процессе распада ядер тяжелых элементов, оказывается более дешевой, чем получаемая от ряда неистощающихся 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 100. При более полном его использовании в бридерах этот срок удлинится в 50 раз, 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 уже осуществленные процессы в современных атомных электростанциях 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, прольется 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 такого большого количества, 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 про-

цесс не только не будет создавать значительного количества радиоактивных шлаков и опасного накопления радиоактивного вещества, но, главное, не открывает никаких 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, путем синтеза 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 получения полезной энергии $D+D$ реакция должна происходить при температуре ионов плазмы, которая раз в 10 выше, чем для реакции $D+T$. Однако реакция $D+T$, 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 по-

лучению 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 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.

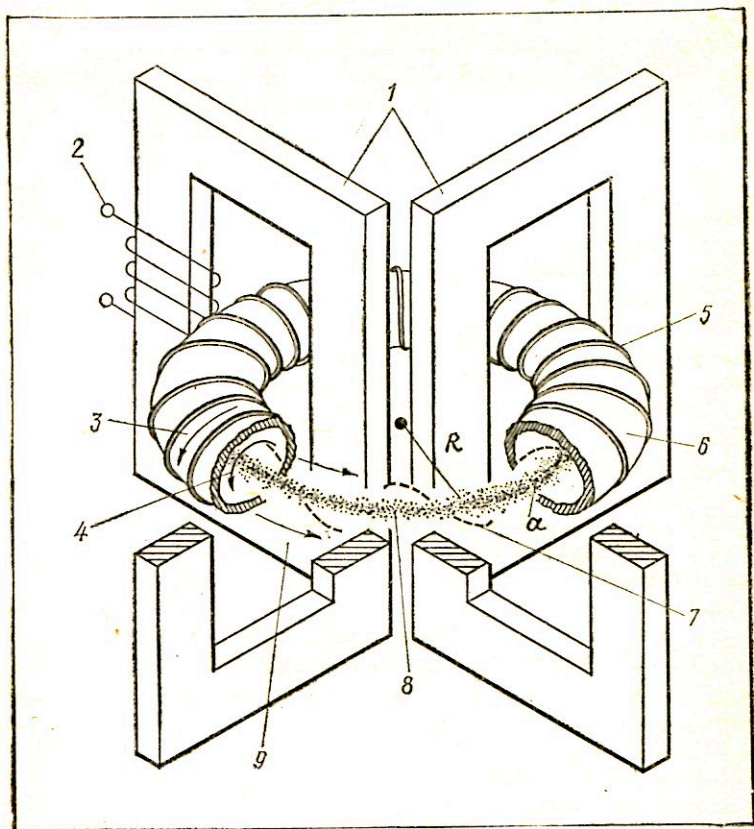


Рис. 1. Основные элементы конструкции «Токамака»:

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

Наиболее остроумным и многообещающим способом был так называемый «Токамак», предложенный в СССР, и который разрабатывается уже более десятилетия ([1], с. 15). Принцип, на основе которого он работает, виден на схеме его конструкции, изображенной на рис. 1. 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 рис. 1, 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 в следующем: для получения термоядерной реакции нужен нагрев самих ионов дейтерия или трития, и главная трудность в передаче им тепла связана с тем, что *через плазмы производится воздействием на нее элек-*

трического 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, сосредоточивается 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 продолжении 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 еще может быть осуществлен. Он дается следующим простым выражением ([2], (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 и давление p , выраженное в атмосферах, и температура электронов T_e .

Коэффициент f равен отношению массы иона к массе протонов, Λ — известный логарифмический множитель ([2] в. 4), T_i — температура ионов. Согласно этому выражению для современного проекта «Токамака», работающего на реакции $D+T$ с плазмой при температуре ионов $T_i = 5 \cdot 10^8$ К 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 с квадратом размеров установки. Из приведенной формулы получаем, что для реакции $D+D$ время нагрева увеличивается еще на два порядка, 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 разрядов 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 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 достаточно 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 их размерами. Поэтому у реакторов существует критический размер, только больше которого он может генерировать полезную энергию. Величина этого критического размера и определяет осуществимость реактора на практике. Определение этого критического размера делают 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 производст-

ве. 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, но, кроме того, существуют еще трудности другого характера, которые пока не имеют четкого решения. 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 «Токамаков» и увеличивают их 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 реакция $D+T$ 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 возможно 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 конструкторского 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 9 лет назад [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 КПД и мощностью в несколько сот киловатт. Принцип, на котором он работает, теперь описан [5] и также полностью описана [6] конструкция этого прибора и дана

его рабочая характеристика. Этот генератор был нами назван «Ниготрон». В процессе разработки генератора, начиная с 1950 г., при испытании одной из его моделей мы пропускали его излучение через кварцевый шар, наполненный гелием при давлении 10 см 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 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, достигающих десятков киловатт, и, конечно, также изучалось влияние на разряд магнитного поля, достигающего в наших опытах 25 кЭ. Эти исследования подробно описаны [4]. Схема применяемой нами установки изображена на рис. 2.

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.

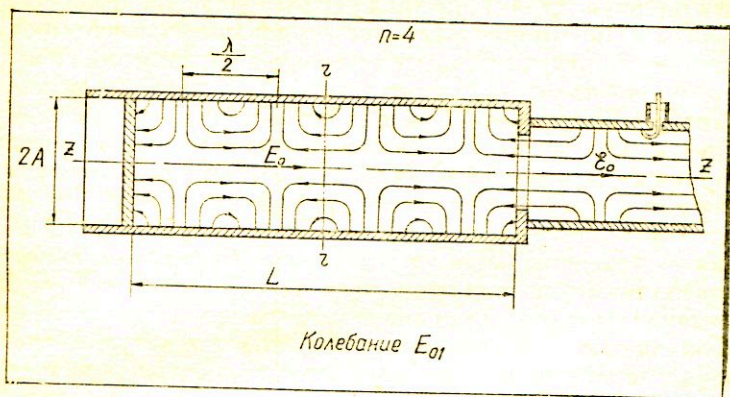


Рис. 2. Схема структуры ВЧ-поля в резонаторе с колебаниями E_{01}

Наибольший интерес представляет изучение плазменного разряда в водороде или в дейтерии. При малых мощностях разряд не имел четко очерченных границ, и 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. Фотография такого разряда дана на рис. 3. 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 вы-

сокой 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 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 поверх-



Рис. 3. Фотография шнурового разряда в дейтерии с примесью 5% аргона при большой мощности $P_a=14,7$ кВт и повышенном давлении $p=3,32$ атм. Длина разряда ~ 10 см. Левый край разряда затемнен окном. Колебания типа E_{01} (1969 г.)

ности 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 поперечная 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 нами сделано [8]. Схема и его описание даны на рис. 4.

Шнуровой разряд 1 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 использу-

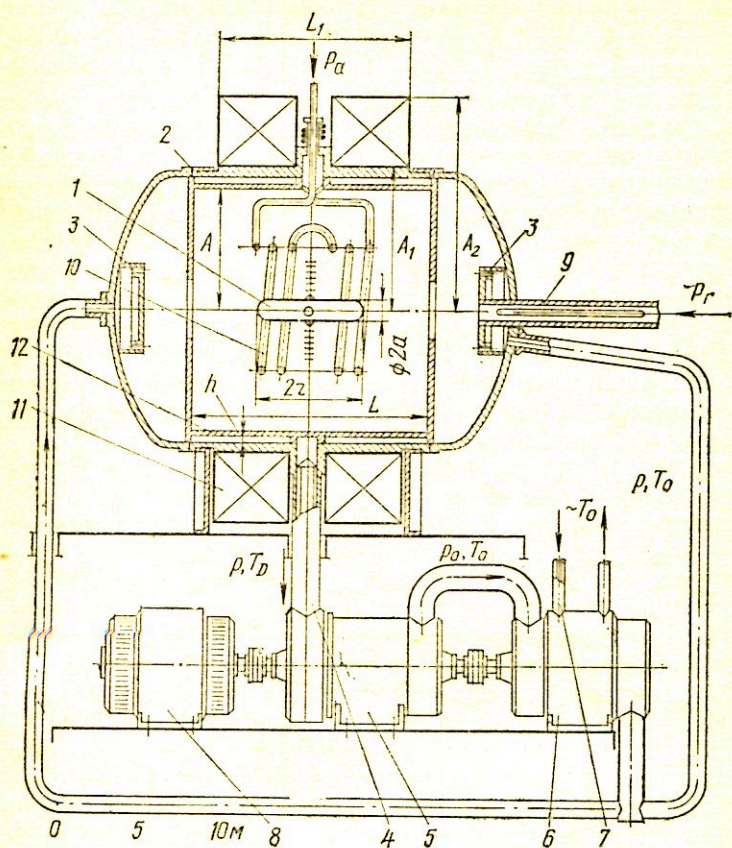


Рис. 4. Чертеж конструкции термоядерного реактора, работающего в замкнутом цикле:

1 — шнуровой разряд; 2 — цилиндрический контейнер реактора; 3 — наклонные сопла; 4 — труба, соединяющая контейнер реактора с газовой турбиной; 5 — газовая турбина; 6 — изотермический компрессор; 7 — охлаждающая вода; 8 — генератор; 9 — коаксиальный волновод; 10 — катушка переменного магнитного поля; 11 — соленоид; 12 — медный кожух резонатора; L — длина резонатора; L_1 — длина соленоида; P_a — мощность магнитоакустических колебаний; P_r — высокочастотная мощность; A — радиус резонатора; A_1 — внутренний радиус обмотки; A_2 — наружный радиус обмотки; $2r$ — длина шнурового разряда; $2a$ — диаметр шнурового разряда; h — расстояние между стенкой контейнера и резонатором

ется 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 рис. 2. 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). Такая 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 легко превращать в механическую. Таким образом, отпадают те основные трудности, которые стоят на пути осуществления импульсных методов ядерного синтеза.

Но все же на нашем пути лежит еще нерешенная трудность, к которой следует отнести очень серьезно, потому что она может сделать проблему вообще неразрешимой. Эта трудность заключается в следующем. Сейчас мы умеем в нашем устройстве в высокочастот-

ном 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 реакция $D+D$, либо реакция $D+T$. 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 в тысячи километров. Уменьшить это сечение можно, уменьшая теплопроводность ионного газа, что может быть достигнуто помещением шнура в магнитное поле так, как это сделано в реакторе на рис. 4. Теплопроводность ионного газа в магнитном поле становится значительно меньше, так как она теперь определяется не длиной свободного пробега иона, но диаметром его ларморовской

орбиты, который обратно пропорционален 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 килоэрстед критический диаметр шнура равен всего 5—10 см. Получить такую величину вполне осуществимо. Но для этого нужна установка значительно больше той, на которой мы сейчас изучаем в плазме природу электронного газа. В 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, равного 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 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, какие факторы больше всего влияют на интенсивность конвекции. Очевидно, что для того чтобы поддерживать конвекцию, необходимо затрачивать энергию. В газе эта энергия обычно берется из кинетической энергии при его течении за счет увеличения бернуллевского 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, который в обычных газах при нормальном давлении очень мал, близок к 10^{-5} см, поэтому внутреннее напряжение при небольших градиентах температур 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 недопустимо большими, то, конечно, возникнет вопрос о способах борьбы с величинной конвекционной теплопроводности. Это можно сделать, 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 импульс-

ный 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 F. L. Ribe Rev. of Modern Physics, 47, 7, 1975.
- 2 П. Л. Капица, Письма в ЖЭТФ, 22, вып. 1, 20, 1975.
- 3 П. Л. Капица и Л. П. Питаевский, ЖЭТФ, 67, 1410, 1974.
- 4 П. Л. Капица, ЖЭТФ, 57, 1801, 1969.
- 5 П. Л. Капица, Электроника больших мощностей, «Наука», М., 1962.
- 6 П. Л. Капица, С. И. Филимонов, С. П. Капица, Сборник «Электроника больших мощностей», № 6, «Наука», М., 1969.
- 7 П. Л. Капица, Доклады АН СССР, 101, 254, 1955.
- 8 П. Л. Капица, ЖЭТФ, 58, 377, 1970.
- 9 I. S. Maxwell, Phil. Trans. R. S., 170, 231, 1879.

П. Л. КАПИЦА

ВЛИЯНИЕ СОВРЕМЕННЫХ НАУЧНЫХ ИДЕЙ НА ОБЩЕСТВО ¹

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.

Конечно, большая роль науки в нашей цивилизации общепризнана. Науку, по-видимому, справедливо даже

¹ Доклад, представленный на Международный симпозиум ЮНЕСКО, посвященный 100-летию со дня рождения А. Эйнштейна (г. Ульм, ФРГ, сентябрь 1978 г.).

© «Вопросы философии», 1979 г.

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 или 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 мало значащее явление природы. Научные исследования 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 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 основной фактор, обеспечивающий 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 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 фактов 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 Атлантиде», 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, например 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 создание 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 длившееся 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 100 000.

В развитии научных дисциплин появилась некоторая очередность. Так, при Бэкоме 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 XIX 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. 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 ряд окончивших их становились крупными учеными. Так, Эйнштейн окончил политехнический институт в Цюрихе. Такие крупные ученые, как П. Дирак, П. Ланжевэн, 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 был 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 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 напоми-

нали врачей, которые на имеющемся эмпирическом опыте 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, но всеми общественными средствами производства и жизненными средствами, превратившимися в капитал.

Закономерности динамики роста совокупного национального богатства, данные Марксом, действуют при разных социальных структурах. Эти законы 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 революцией. 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 энергонасыщенность 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 приводят к автоколебаниям. Период и интенсивность этих колебаний в основном определяются эффективностью обратной связи. Гасить эти автоколебания можно, увеличивая эффективность обратной связи. Это до-

стигается 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 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 увеличивать. 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, ко-

нечно, 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 экономики, то в интернациональном масштабе этот метод становится непригодным. Это вызвано тем, что каждое государство не допускает вмешательства в свои де-

ла 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 СЭВа. 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 СЭВа.

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-технической революции. Экономисты ищут эффективные мероприятия, подобные тем, которые предложил Кейнс, но при этом они стремятся по возможности сохранить

принцип «Laisser faire, laisser 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 такие организации, как армия, полиция, денежное обращение, народное образование и др., 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 обществ

венных 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 населения 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 материальной культуры существует предел, он определяется нужными человеку пищевыми калориями, его гардеробом, величиной жилой площади и т. д. Сейчас эти пределы в развитых странах вполне достижимы.

- 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 на обеспечение для себя больших материальных средств.

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 — это то, что в этих странах происходит увеличение 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 эволюционном 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 ос-

новном 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, занятия, религию и мирнолюбовно 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 он 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 выполнять 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. 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 сто-

рону 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. 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 художественное 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 литературе художественные 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.

ЛИТЕРАТУРА

1. Strahlungs-Emission und-Absorption nach der Quantentheorie. Verhandl. «Dtsch. Phys. Ges.», 1916, No 18. SS. 318—323.

2. D. Price. Little Science. Big Science. New York, 1963.
3. D. Meadows and al. The Limits to Growth. New York, 1972;
M. Mesarovic, E. Pestel. Mankind at Turning Point. New York, 1974.

П. Е. РУБИННИН

ГЛАВНОЕ СОБЫТИЕ НОБЕЛЕВСКОЙ НЕДЕЛИ П. Л. КАПИЦЫ

Шведский инженер-химик, изобретатель и промышленник Альфред Нобель, завещавший почти все свое состояние (31 млн. крон) на учреждение ежегодных премий за работы в области физики, химии, физиологии или медицины, литературы, а также за деятельность по укреплению мира, скончался в итальянском городе Сан-ремо 10 декабря 1896 г. Именно поэтому торжественная церемония вручения Нобелевских премий происходит каждый год 10 декабря.

П. Л. Капица решил, что он и сопровождающие его лица прилетят в Стокгольм 9 декабря, т. е. накануне торжественной церемонии. Но потом пришло письмо от генерального секретаря Шведской академии наук профессора К. Г. Берихарда, в котором он настоятельно просил приехать в Стокгольм не позже 6 декабря.

Мы прибыли в Стокгольм утром 5 декабря. А накануне были в посольстве Швеции в СССР на приеме в честь П. Л. Капицы, на который были приглашены все советские лауреаты Нобелевской премии по физике и химии. Так что нобелевская неделя Петра Леонидовича началась еще в Москве...

Нобелевская неделя служит как бы прологом торжественной церемонии вручения Нобелевских премий.

6 декабря был «сбор» всех Нобелевских лауреатов и членов их семей. Познакомились друг с другом, поговорили, посмотрели видеофильм о церемонии вручения Нобелевских премий 1974 г. Директор Нобелевского фонда С. Рамель сказал в своем вступительном слове, что это поможет лауреатам представить себе, что ждет их впереди.

Затем пошли приемы, ленчи, обеды, ужины, пресс-конференции, нобелевские лекции... Лауреаты знакомились со своими шведскими коллегами, «обживались» в Стокгольме. Они исподволь, таким образом, готовились к главному событию нобелевской недели, **настраивались** на это событие...

Петр Леонидович и сопровождающие его лица начали готовиться к этому событию еще в Москве.

В памятной записке, которая была приложена к письму генерального секретаря Шведской академии наук, было написано черным по белому, что форма одежды на церемонии—white tie and tails (белый галстук-бабочка и фрак).

Можно было, конечно, взять фрак напрокат в Стокгольме (директор Нобелевского фонда просил на этот случай прислать заранее все необходимые размеры), но Петр Леонидович считал, что ходить во фраках напрокат—«не фасон», поэтому фраки и белые пикейные жилеты были сшиты в Москве замечательным мастером своего дела П. П. Охлопковым. Что касается галстука-бабочки, то тут Петру Леонидовичу пришлось пойти на попятный. За месяц до поездки в Стокгольм он был твердо убежден в том, что мы все научимся собственноручно завязывать галстуки-бабочки. «Бабочка, — говорил Петр Леонидович, — должна быть завязана несколько небрежно...» Он категорически отвергал раз-навсегда-завязанные галстуки с пошлой резинкой. Уж это такой «не фасон», дальше которого ехать некуда... К сожалению, однако, выяснилось, что сам Петр Леонидович разучился завязывать «бабочку». Чтобы восстановить былую «английскую» сноровку, нужны были упорные тренировки. А где взять время на эти тренировки? Ведь нужно еще нобелевскую лекцию написать...

Пришлось купить в Стокгольме три густо накрахмаленные, будто отлитые из гипса, «бабочки» с резинкой и тонким металлическим колечком, которое набрасывается на пуговку и застенчиво выглядывает на свет божий из-под черного отворота фрачного воротника...

Утром 10 декабря все лауреаты и сопровождающие их лица приехали в концертный зал. Это большой зал, на 1750 мест, который не кажется огромным лишь потому, что уходит ввысь, опоясанный рядами балконов.

Сейчас он кажется пустынным и даже несколько обшарпанным. На просторной сцене, украшенной великолепными гвоздиками, присланными из Санремо, потянуто бродят лауреаты.

Директор Нобелевского фонда барон С. Рамель просит лауреатов занять свои места — девять красных кресел на левой стороне сцены.

— Сегодня утром, — говорит Рамель, — королем буду я...

И он усаживается в большое синее кресло-троп.

— Когда профессор Хултен, который будет представлять физиков, перестанет говорить по-шведски и обратится к Вам по-английски: «Профессор Капица, я прошу Вас принять Нобелевскую премию из рук Его Величества Короля...», Вы должны встать и пойти на середину сцены... Король тоже встанет и выйдет на середину сцены, и здесь церемониймейстер даст ему коробки с дипломом и медалью.

И Рамель выходит на середину сцены, и Петр Леонидович идет ему навстречу, и они изображают вручение и получение премии, пожимают друг другу руки и что-то друг другу говорят...

— А потом Вы обернетесь к залу и поклонитесь, — говорит Рамель с веселой, даже несколько озорной улыбкой.

И Петр Леонидович послушно оборачивается к нам, кланяется и улыбается. А потом идет к своему креслу, и, откинувшись на спинку, от души смеется.

На середину сцены отправляется Арно Пензиас, и Рамель-король жмет ему руку.

И так девять раз подряд проделывается этот номер, и всем присутствующим, многие из которых к репетиции этой относились с иронической усмешкой, становится ясно, что она была совершенно необходима...

А вечером все преображено чудесным образом. На левой половине сцены в красных креслах торжественные и праздничные, в черных фраках, лауреаты... На правой половине сцены в старинных синих креслах, отделанных золотом, король и королева. Молодой король Карл XVI Густав, как и все мужчины в этом зале, во фраке. Королева Сильвия — в лиловом вечернем платье, на темных волосах — корона, сверкающая бриллиантами. По правую руку от короля — его дядя, герцог Халландский, по левую руку от королевы — герцогиня Халландская.

На заднем плане, на возвышающихся трибунах — члены правления Нобелевского фонда, члены Нобелевских комитетов. Они во фраках и белых манишках, на которых выделяются яркие ленточки орденов.

На кафедре, украшенной бронзовым барельефом Альфреда Нобеля, председатель правления Нобелев-

ского фонда профессор С. Бергстрём. В конце своего вступительного слова он говорит, что в 2000 г. Нобелевский фонд будет отмечать свой 100-летний юбилей.

— Оглядываясь назад в этот день, — говорит он, — мы увидим, что многие достижения и открытия, за которые была присуждена Нобелевская премия, имели существенное значение для развития человечества — зачастую самым непредвиденным образом...

Профессор Бергстрём говорит по-шведски. У каждого нешведа в зале — книжечка с переводом речей на английский...

Звучит увертюра к опере Глинки «Руслан и Людмила» — русская музыка в честь русского лауреата.

На кафедре директор Нобелевского института физики профессор Л. Хултен. Он говорит:

«Ваши Величества, Ваши Королевские Высочества, леди и джентльмены!

В этом году Нобелевской премии удостоены Петр Леонидович Капица (Москва) «за фундаментальные изобретения и открытия в области физики низких температур» и Арно А. Пензиас с Робертом У. Вильсоном (Хомдел, Нью-Джерси, США) «за открытие космического микроволнового фонового излучения».

К низким температурам мы относим температуры, близкие к абсолютному нулю, — 273°C , где все тепловое движение прекращается и не может существовать никаких газов. Обычно в этой области температуру отсчитывают от нулевой и выражают в «градусах Кельвина» (в честь английского физика лорда Кельвина), например, 3°K означает то же самое, что — 270°C .

Семьдесят лет назад голландскому физiku Камерлинг-Оннесу удалось ожить гелий, и с этого момента началось развитие новой области физики, приведшее ко многим новым и неожиданным результатам. В 1911 г. Камерлинг-Оннес открыл сверхпроводимость ртути: ее электрическое сопротивление полностью исчезало при температуре около 4°K . В 1913 г. Камерлинг-Оннесу за это открытие была присуждена Нобелевская премия, и его лаборатория в Лейдене на многие годы стала Меккой для физиков, занимающихся низкими температурами, в частности и для многих шведских исследователей.

В конце двадцатых годов лейденские физики приобрели достойного соперника в лице молодого русского

ученого Капицы, который работал с Резерфордом в Кембридже, Англия. Его достижения были столь впечатляющими, что для него был создан специальный институт — Мондовская лаборатория Королевского общества (названная по имени ее основателя — Монда), где Капица работал до 1934 года. Среди его работ этого периода выделяется оригинальная машина для ожижения гелия в больших количествах, которая стала основой быстрого прогресса в физике низких температур за последние двадцать пять лет.

По возвращении в родную страну Капице пришлось построить новый институт практически с нуля. Тем не менее в 1938 году он удивил всех физиков, открыв сверхтекучесть гелия, обнаружив, что внутреннее трение (вязкость) жидкого гелия исчезает при температуре ниже $2,2^{\circ}\text{K}$ (так называемая лямбда-точка гелия). Это открытие было независимо сделано Алленом и Майзнером в Мондовской лаборатории. Последующие исследования сверхтекучести Капица провел также блестяще, и в то же время он руководил и вдохновлял в работе своих младших сотрудников, из которых мы должны вспомнить прежде всего Льва Ландау, лауреата Нобелевской премии 1962 года «за пионерские теоретические работы по конденсированному состоянию, особенно жидкого гелия». Среди других исследований Капицы мы должны упомянуть также метод, развитый им для получения очень сильных магнитных полей.

Капица выделяется как один из величайших экспериментаторов нашего времени, и в этой области он безусловно новатор, лидер и мастер».

Затем профессор Хултен говорит о работе Пензиаса и Вильсона...

Короткая пауза.

Профессор Хултен оборачивается к Петру Леонидовичу и торжественно провозглашает по-английски:

— Профессор Петр Леонидович Капица, я поздравляю Вас с этой высокой наградой и прошу Вас принять Нобелевскую премию из рук Его Величества Короля...

Фанфары.

Петр Леонидович идет на середину сцены... Из-за спины профессора Хултена возникает церемониймейстер. Он дает королю большую серую коробку с дипломом и маленькую коричневую — с медалью... Король легкой пружинистой походкой идет навстречу Петру

Леонидовичу. На голубом ковре, которым покрыта сцена, белым кругом обведена большая буква *M*. Вот здесь они и сходятся. Лево́й рукой король протягивает Петру Леонидовичу свою драгоценную ношу, а правой пожимает ему руку. И что-то говорит (будто беззвучно шевелит губами), и Петр Леонидович что-то ему беззвучно отвечает... И поворачивается к залу... Кланяется... Улыбается...

И все 1750 человек в зале и члены Нобелевских комитетов на сцене стоя приветствуют Петра Леонидовича...

Девять раз подносит статный церемониймейстер королю коробки с нобелевскими дипломами, девять раз пожимает король руки лауреатам и что-то им беззвучно говорит...

И вот уже звучит национальный гимн Швеции.

А потом торжественной чередой покидают сцену лауреаты, члены Нобелевских комитетов, королевская семья.

Кончилось первое действие торжественной церемонии. Второе действие — праздничный банкет — будет «иметь место» в городской ратуше.

И вот мы в Голубом зале городской ратуши... Такого грандиозного зала мне не приходилось раньше видеть. Он напоминает двор старинного замка. Ввысь уходят красные кирпичные стены, и белый потолок терется где-то в поднебесье. Главное преимущество этого простора над головой — вы не слышите обычного при больших застольях гомона: все шумы уходят ввысь. И вы разговариваете с вашими соседями тихим «домашним» голосом, вы чувствуете себя в этом зале как дома... И так чувствуют себя 1191 участник этого великолепного банкета...

Фанфары.

С помощью современных мощных средств усиления звука церемониймейстер возвещает о прибытии на банкет королевской семьи и почетных гостей.

Все встают.

По парадной лестнице в зал спускается король, ведущий под руку Анну Алексеевну, жену Петра Леонидовича.

Под звуки торжественного марша в зал входят почетные гости — лауреаты, члены королевской семьи, руководители Нобелевского фонда и Нобелевских коми-

тетов, премьер-министр и министр иностранных дел, послы Англии, СССР, США и Швейцарии (граждане этих стран стали лауреатами Нобелевской премии 1978 г.)... И их супруги, естественно...

Почетные гости занимают места за главным столом банкета, который протянулся из одного конца зала в другую.

Петр Леонидович сидит между королевой и женой председателя парламента. Совсем рядом, по правую руку от жены председателя парламента — премьер-министр Швеции. Петр Леонидович с удовольствием поговорил бы с ним о разных интересных вещах: о политике, экономике и прочем, но... банкет есть банкет, нужно занимать своих соседок, вести светскую беседу. И Петр Леонидович очень мило беседует с королевой. (На следующий день шведские газеты поместили фотографию — П. Л. Капица пьет за здоровье королевы...)

Вскоре после того как был подан десерт (Parfait glace Nobel — совершенное нобелевское мороженое), король провозглашает тост памяти Альфреда Нобеля.

Начинается «художественная часть» банкета — выступают с краткими речами Нобелевские лауреаты 1978 г.

Церемониймейстер каждого торжественно представляет... Гремят фанфары, и на трибуну поднимается лауреат.

От имени физиков говорит Петр Леонидович.

Вот его речь:

«Ваши Королевские Величества, леди и джентльмены!

Я думаю, что не ошибаюсь, считая себя самым старым по возрасту человеком, когда-либо получавшим Нобелевскую премию.

Моя первая публикация, имеющая некоторое научное значение, появилась в 1913 году, и с тех пор я в течение 65 лет был свидетелем крупных изменений, происходивших в научной деятельности.

В дни моей молодости научная работа была сосредоточена в университетах и выполнялась в основном небольшим числом профессоров. Материальные средства были очень скромные. Потратить несколько сот рублей на прибор считалось большим событием.

Примерно в середине нашего столетия произошла так называемая научно-техническая революция. Совсем

ным стало положение ученого и его работы в обществе. Наука стала производительной силой. Были созданы специальные научно-исследовательские институты, располагающие большими материальными возможностями.

В наши дни на одну научную установку может быть израсходовано несколько сот миллионов долларов.

Несмотря на эти большие изменения в жизни науки, одна вещь осталась неизменной — это Нобелевская премия. Ее значение, как самой большой научной награды в международном масштабе, общепризнано. Это следует рассматривать как выдающееся достижение шведских ученых, поскольку присуждение премий требует большой мудрости.

Стоит отметить, что другой такой премии, пользующейся подобным международным авторитетом, не существует.

Вот почему ученые всего мира так высоко ценят Нобелевскую премию.

Я покорно прошу Ваше Величество передать Шведской королевской академии наук, от имени профессора Пензиаса, профессора Вильсона и меня лично, нашу искреннюю признательность за оказанную нам честь...»

Отгремели аплодисменты, и на парадной лестнице появились студенты в белых шапочках.

Председатель студенческого союза произносит приветственную речь.

Поет студенческий хор...

От имени Нобелевских лауреатов с ответным словом к студентам обращается Пензиас.

Все студенты, присутствующие в зале (среди участников банкета 130 студентов), покидают свои места и выстраиваются у парадной лестницы под штандартами институтов и университетов.

Цветущие молодые люди в черных фраках. Прелестные девушки в длинных вечерних платьях... Белые фуражки... Под черным лаковым козырьком светятся молодостью и радостью жизни очень серьезные и симпатичные физиономии...

Студенты покидают банкетный зал торжественным строем.

Все встают и отправляются танцевать.

В огромном зале, украшенном мозаикой, кипит и бурлит танцующая толпа, а в тихой комнате, где царит полумрак, королевская семья общается с лауреатами

и членами их семей (поочередно, в порядке, регулируемом церемониймейстером)...

Анфилады парадных залов городской ратуши заполнены праздничной толпой — мужчины во фраках и белых манишках, дамы в длинных вечерних платьях.

Я бродил в этой толпе и часто ловил себя на мысли, что я это не я (я тоже был во фраке, и проклятый крахмальный воротничок медленно, но неумолимо перепиливал мне шею), мне казалось порой, что я очутился по крайней мере в первой четверти XIX века.

Но вот я вижу в этой толпе Петра Леонидовича и Анну Алексеевну. Они веселые, оживленные, радостно возбужденные. Их плотным кольцом окружают люди.

Нет, думаю я, ни в каком я, к счастью, не в девятнадцатом. Я в нашем родном, двадцатом. В последней четверти двадцатого века...

СОДЕРЖАНИЕ

А. С. Боровик-Романов НОБЕЛЕВСКАЯ ПРЕМИЯ ПО ФИЗИКЕ — П. Л. КАПИЦЕ	3
П. Л. Капица ВЯЗКОСТЬ ЖИДКОГО ГЕЛИЯ ПРИ ТЕМПЕ- РАТУРАХ НИЖЕ ТОЧКИ λ	10
Е. М. Лифшиц РОЖДЕНИЕ ФИЗИКИ КВАНТОВЫХ ЖИД- КОСТЕЙ	13
П. Л. Капица ПЛАЗМА И УПРАВЛЯЕМАЯ ТЕРМОЯДЕР- НАЯ РЕАКЦИЯ	18
П. Л. Капица ВЛИЯНИЕ СОВРЕМЕННЫХ НАУЧНЫХ ИДЕЙ НА ОБЩЕСТВО	37
П. Е. Рубинин ГЛАВНОЕ СОБЫТИЕ НОБЕЛЕВСКОЙ НЕДЕ- ЛИ П. Л. КАПИЦЫ	55

Академик Петр Леонидович КАПИЦА

Сборник статей

Составитель *П. Е. Рубинин*

Гл. отраслевой редактор *В. П. Демьянов*
Редактор *К. А. Кутузова*
Мл. редактор *Н. А. Львова*
Обложка художника *В. И. Кузьмина*
Худож. редактор *М. А. Гусева*
Техн. редактор *С. А. Птицына*
Корректор *В. В. Каночкина*

ИБ № 2291

Т 10742. Индекс заказа 94007. Сдано в набор 04.04.79. Подпи-
сано к печати 28.05.79. Формат бумаги 84×103¹/₃₂. Бумага ти-
пографская № 3. Бум. л. 1,0. Печ. л. 2,0. Усл. печ. л. 3,36.
Уч.-изд. л. 3,46. Тираж 47 610 экз. Издательство «Знание»,
101835, ГСП, Москва, Центр, проезд Серова, д. 4. Заказ 702.
Типография Всесоюзного общества «Знание», Москва, Центр,
Новая пл., д. 3/4,
Цена 11 коп.

11 коп.

Индекс 70102

Handwritten text in Cyrillic script, likely a title or description, including the number 30.

