

ЖИЗНЬ ЗАМЕЧАТЕЛЬНЫХ ИДЕЙ

«ЧЕЛОВЕК В ПРОЦЕ-
СЕ ПОЗНАНИЯ ПРИ-
РОДЫ МОЖЕТ ОТОР-
ВАТЬСЯ ОТ СВОЕГО
ВООБРАЖЕНИЯ, ОН
МОЖЕТ ОТКРЫТЬ И
ОСОЗНАТЬ ДАЖЕ ТО,
ЧТО ЕМУ НЕ ПОД
СИЛУ ПРЕДСТА-
ВИТЬ!» - ГОВОРИЛ
АКАДЕМИК Л. ЛАН-
ДАУ. ТАКИМ УДИВИ-
ТЕЛЬНОМ ЗАВОЕВА-
НИЕМ ЧЕЛОВЕЧЕС-
КОЙ МЫСЛИ ЯВИ-
ЛОСЬ В НАШЕМ ВЕ-
КЕ ОТКРЫТИЕ
ВЕРОЯТНОСТНОЙ
КАРТИНЫ МИРА В
ГЛУБИНАХ МАТЕ-
РИИ, ГДЕ КОНЧАЕТ-
СЯ ВЛАСТЬ КЛАССИ-
ЧЕСКОЙ ПРИЧИН-
НОСТИ.

Д. ДАНИН

ВЕРОЯТ- НОСТНЫЙ МИР

**ЖИЗНЬ
ЗАМЕЧАТЕЛЬНЫХ
ИДЕЙ**



Знание не убывает, а только растёт.



Время неостановимо движется вперед,
и наука неостановимо движется вверх.



В годы научных революций кривая роста подни-
мается круто - потому и трудно нам ее одолеть.



Понимание накапливается, но не тратится.



Д. ДАНИН

ВЕРОЯТНОСТНЫЙ
МИР

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЗНАНИЕ»
Москва 1981

22.3г
Д18

Данин Д. С.
Д18 Вероятностный мир. М.: Знание, 1981.—
208 с.— (Жизнь замечательных идей).
75 к. 100 000 экз.

14 декабря 1900 года впервые прозвучало слово «квант». Макс Планк, произнесший его, проявил осторожность: это только **рабочая гипотеза**. Однако прошло не так много времени, и Эйнштейн с **завидной смелостью** заявил: квант — это реальность! Но становление **квантовой механики** не было спокойно триумфальным. Здесь как **никогда прежде драма идей** тесно сплеталась с драмой людей, создававших новую физику. Об этом и рассказывается в научно-художественной книге, написанной автором таких известных произведений о науке, как «Неизбежность странного мира», «Резерфорд», «Нильс Бор». Собирая материал для своих книг, автор дважды работал в архиве Института теоретической физики в Копенгагене.

Книга научно-художественная. Для широкого круга читателей.

Д $\frac{20400-004}{073(02)-81}$ 15—81 1704010000

22.3г
53(09)

© Издательство «Знание», 1981 г.

Глава
Вотпутительная



Архив Незабываемого Времени

Если то, что мы называем Вселенной, зародилось случайно из атомов, которые неутомимы в своем вихревом движении, то как случилось, что ты столь прекрасна, а я влюблен?

Джон ХОЛЛ (XVII век)

В облегченье рассказчикам кто-то придумал надежное правило: хорошую историю лучше всего начинать с начала...

Жаль ослушаться доброго совета. Тем более что впереди — несомненно хорошая история: рассказ о квантовой революции в человеческих представлениях об устройстве природы. И одновременно — о перевороте в стиле физического мышления! Такое случается не каждый век! Казалось бы, все ясно: быть повествованию документальным, поскольку история эта невыдуманная. А раз так, то весь ход ее заранее задан самим течением жизни — уже состоявшейся и отошедшей сменой событий и лиц. Тут ничего не переиначишь. Рассказчику остается лишь роль понятливого секретаря, не правда ли?

Похоже, что правда. Однако тут есть каверза. И не одна.

Первая заключена в характере и степени понятливости секретаря. Каждый секретарь чего-то недослышит, другое и вовсе пропустит мимо ушей, третье недооценит, четвертое запишет туманно, пятым избыточно пленится, к шестому окажется равнодушным... Даже папки с архивными документами бесстрастно неподкупны лишь до той минуты, пока их не раскроют. А едва тесемки развязаны, как в былое вмешиваются отбор и выбор нужного рассказчику материала — нужного в согласии с его понятливостью.

И вот уже рассказчик перестает быть безучастным секретарем. Он превращается в сочинителя документального повествования. Не противоречие ли — «сочинитель документального»? Конечно, противоречие. Но неизбежное и неустранимое. Любой документалист поневоле пишет свой вариант вроде бы заранее заданного течения жизни, отшумевшей или еще бурлящей. И неосмотрительно давать обещание — ничего не переиначивать. Оно просто невыполнимо.

Разумеется, неприкосновенны даты и внешние контуры событий, равно как и научный смысл происходившего. Но сверх этого есть люди, творившие и творящие историю. Подлинные лица с их единственностью — с их психологией. А все психологическое неоднозначно. В нем открывается простор для толкований. И тут уж никто не вправе с надежной достоверностью возразить рассказчику, что «на самом деле» все было иначе. А как — иначе? В ответ можно услышать еще одно толкование — не больше. Обычное свойство всех человеческих историй.

Наша хорошая история тем и хороша, что она — человеческая. Так ее и хочется рассказывать — не как выстроенную по логическому ранжиру, а как сплетенную из идей и страстей, озарений и отчаяний, радостей и огорчений...

Сомнений нет: лучше всего начать рассказывать ее с начала. Но тут еще одна каверза: на что решиться, если начал у нее много и любое равно допустимо? Снова — отбор и выбор. И снова по воле рассказчика. Можно ли хоть здесь-то избавиться от нее в конце концов?

Да вот и подсказано решение: не начать ли с конца? Уж он-то наверняка один-единственный, как вершина в финале восхождения, как победа в итоге борьбы. Но

наша история еще и тем хороша, что не было у нее и не будет конца. Бессрочность жизни на роду написана замечательным научным построением: они не костенеют в завершенности, а все разрастаются на отведенном им природою поле.

Так что же отыскать для начала? Вот, может быть, это...

...Все не забывается туманное, а вместе солнечное утро в осеннем Копенгагене. Такое знакомое горожанину утро, когда из розовато-дымчатого вещества невидимое солнце лепит над укороченными туманом городскими далями смутные громады старых соборов и неузнаваемых башен. Все вокруг перестает быть взаправдашним. Улицы и площади рисуются, как в неверном воспоминании: где был, где небыль, откроется ли вон за тем поворотом то, что незыблемо стояло там в прозрачности вчерашнего вечера? Какие новости припасены для тебя сейчас вон за тем едва различимым углом? В такое утро чувствуешь себя заблудившимся в чужом рассказе.

Так я и чувствовал себя в то копенгагенское утро. Но наверное, потому не выходит оно из головы, что я и сам, как город вокруг, был весь пропитан солнечным туманом — счастливой взбудораженностью. Дело в том, что мне тогда невероятно повезло.

Я собирал материалы для жизнеописания Нильса Бора. Верхом желаний была поездка в Копенгаген — столицу квантовой физики. Однако смел ли я надеяться, что буду приглашен туда боровским Институтом теоретической физики для месячной работы в его архиве? Меж тем это-то и состоялось осенью 1968 года.

В то утро фру Бетти Шульц, давняя и бессменная секретарша покойного Бора, ввела меня в маленькую комнату на Блегдамсвей, 17, и у окна, занавешенного солнечным туманом, старческой рукой протянула мне ключ от входных дверей архива. Потом погладила ладонью просторный стол и сказала по-английски: «Здесь хорошо работать». А услышав слова моей старательной благодарности, прибавила: «Работайте спокойно». Неспроста попыталась она вручить мне вслед за ключом порцию спокойствия: долгий и разнообразный опыт сразу подсказал ей, что вот и этот временный гость — из тех приезжих, что не умеют сами освободиться от мешающего возбуждения.

Она, прошедшая вместе с Нильсом Бором весь путь его прославленного института, видела, как в свое время появлялись здесь в похожем состоянии не нынешние историки науки или литераторы — архивные завсегда-тай, а ветераны квантовой революции — те, что ее делали и чьи голоса уже отзвучали...

Я приехал послушать в тишине архива эхо этих голосов.

1

Обычные архивы — коллекции милостей случая. Они разрастаются медленно, маленькими незапрограммированными скачками — от находки к находке. Торопиться, как правило, незачем. И, как правило, некому. Архивы собираются десятилетиями и веками.

А этот возник внезапно: за какую-нибудь тысячу дней он вобрал в себя едва ли не все, для него предназначенное, что по миру разбросала история, а заботливый слушай сберег. Он возник по программе!

...В августе 1960 года встретились в университете Беркли, штат Калифорния, пятеро ученых. Вместе их свела наша хорошая история. Точнее — беспокойная мысль, что она покуда не написана. Еще точнее — тревога: как бы не исчезли с течением времени ее документальные следы и как бы не пропали для будущих поколений живые свидетельства ее непосредственных участников.

Кажется, впервые за всю историю естествознания совсем коротенький период его роста — три десятилетия! — достаивался такой тревоги. Или иначе — такого преданного внимания.

Но не стоит думать, будто в Беркли встретилась группа вышедших в отставку ветеранов, честолюбиво обеспокоенных собственным бессмертием. Да нет же! Собралась маленькая группа деятельных физиков-философов-историков из разряда тех, что сегодня благодарно сознают себя духовными наследниками квантовой революции. Благодарно... В этом все дело. Они были единодушны в оценке ее вклада в человеческое познание. «Тут не нашлось бы параллели за последние три столетия» — так позднее выразил общее мнение инициатор встречи в Беркли, известный физик-теоретик Джон Арчибальд Уилер.

Не было ничего исключительного в столь высокой оценке недавно минувшей поры. Чувства собравшихся в Беркли разделили бы все их коллеги во всех университетских центрах мира. Но те пятеро решили действовать! И с их августовского совещания началась подготовка к гигантской трехлетней работе, для которой не нашлось бы параллели в истории научных архивов.

А через четыре месяца одно печальное событие заставило ускорить все приготовления: 5 января 1961 года в Вене скончался семидесятитрехлетний Эрвин Шредингер — создатель волновой механики микромира.

— Слышите, по ком звонит колокол? — сказал Уилер, возглавивший архивный комитет. — Время не ждет.

Его поняли с полуслова. Все помнили о недавних утратах: в 1954 году ушел Энрико Ферми, в 1955-м — Альберт Эйнштейн, в 1957-м — Джон фон Нейман, в 1958-м — Вольфганг Паули, в 1960-м — Абрам Федорович Иоффе... А теперь еще один из видных деятелей «эпохи бури и натиска» унес с собою нерассказанной целую главу истории квантовых идей.

Разумеется, многое расскажет переписка Шредингера. Дневники. Блокноты. Конспекты лекций. Рукописи статей. Черновые наброски. Словом, то, что окажется сохранившимся в его личном архиве, у фрау Шредингер, и в архивах его корреспондентов. А берег ли он свои бумаги? Хранил ли чужие письма? Оставлял ли копии собственных? Говорят, он был натурой неврастенической. Его обыкновения не предугадать. А в гитлеровские времена он кочевал: Швейцария, Италия, Ирландия. Все ли уцелело в нелегких переездах?.. Но сколько бы ни уцелело, все равно с его смертью исчезала возможность записать живой рассказ выдающегося исследователя о пережитой им драме идей и страстей.

Колокол звонил. И каждый его удар оставлял навсегда незаполнимый пробел в еще ненаписанной истории и в еще несобранном архиве источников для будущих историков. Ныне возникший пробел, связанный с именем Шредингера, был таким же зияющим, как пробелы с именами Эйнштейна, Паули, Ферми... Тем более чувствительным он был, что запись живых свидетельств стояла главным пунктом в программе создания архива... «Это было первостепенным оправданием всего проекта», — написали впоследствии исполнители программы, которыми руководил высокосведущий историк физики Томас Кун.

Они установили: на свете еще здравствовали почти сто ветеранов квантовой революции — теоретиков и экспериментаторов разного масштаба и разных школ, некогда работавших вместе в старых научных центрах Европы и Америки. Теперь — спустя десятилетия — их нужно было чаще всего разыскивать в разных уголках земного шара. Моделью могли послужить изгнаннические судьбы двух крупнейших геттингенских исследователей — Макса Борна и Джеймса Франка: ныне, после второй мировой войны, первый обосновался в южногерманском Бад-Пирмонте, а второй — в массачусетском Фалмуте. Словом, сто ветеранов — сорок географических точек, столичных и захолустных: Копенгаген и Поло Альто, Рим и Ла Йолла, Нью-Йорк и Дельфт, Варшава и Сан-Диего, Киото и Пасифик Гроув, Москва, Вена, Париж, Лондон и... всего не перечислить.

Было задумано: посетить каждого и постараться от каждого выведать максимум уникальной информации — научной, психологической, социально-бытовой. Однако не проще ли было каждого ветерана настоятельно попросить: напишите свои мемуары? Нет, исполнители программы — сами мужи высокоученые — по личному опыту представляли, к чему бы это привело...

...В ту же пору, в 1960 году, академику Игорю Евгеньевичу Тамму был задан однажды вопрос: почему он не пишет воспоминаний, хотя столько видел, слышал, нарабатал и пережил за долгие десятилетия служения физике? Последовал стремительный ответ: «Как! Разве на моем лице уже написано, что пора мне приниматься за воспоминания?» Ему было тогда шестьдесят пять. Но злоба дня в теории элементарных частиц влекла его живую душу сильнее, чем коллекционирование эпизодов прошлого.

Да и не просто это для нелитератора вдруг отважиться на томительные поиски нужных слов. Без молодого ассистента Йоргена Калькара семидесятилетний Нильс Бор никогда не написал бы своих воспоминаний о Резерфорде. А сколько немых вопросов возбуждают сегодня эти прекрасные воспоминания! Ну, скажем, что стояло за его увереньем, будто уже весной 1912 года в Манчестере он уловил квантовый принцип в строении планетарного атома? Тут ведь прятался один из истоков квантовой революции. Но ныне уже некого спросить об этом, а в 1962 году было еще не поздно...

И наконец, написанные воспоминания обычно слишком избирательны — по множеству причин, начиная с требований скромности и такта, кончая требованиями формы и размера. Вернер Гейзенберг издал в 60-х годах целую книгу. Однако же не рассказал он в ней, как ему, двадцатилетнему доценту, успевшему создать свой вариант механики микромира, случилось в 1927 году разрыдаться у черной доски в час беспросветной дискуссии о руководящем принципе квантовой физики! А без этого сегодня не представишь атмосферы неумолимости в тогдашних поисках основополагающих истин. Такие подробности надо выспрашивать у ветеранов — надо вымаливать...

В общем, архивный комитет принял решение безошибочное: увидеться с каждым ветераном, вооружившись праведным любопытством, следовательской настойчивостью и отличными магнитофонами. А сперва каждому послать детально разработанный вопросник в согласии с его былою ролью в событиях и предполагаемой осведомленностью. Но для этого нужно было еще раньше подготовить около ста научных трактатов по истории квантовой революции. Да-да, тут нет преувеличения: эти вопросники — трактаты (поверьте читавшему многие из них).

Не удивительно, что только 15 февраля 1962 года исполнители проекта смогли провести первое из запланированных интервью. Зато удивительно, что менее чем через два с половиной года — 18 мая 1964-го — они сумели провести уже и последнее, сто семьдесят пятое!

Но почему же интервью оказалось больше, чем ветеранов? А мыслимо ли было ограничиться всего одной встречей, когда перекрестному «допросу» подвергались ведущие деятели квантового мятежа?! Появились многодневные серии бесед. На самую длинную не поспешили Вернер Гейзенберг: 12 интервью — 20-часовой разговор — 300 страниц тесной машинописи без интервалов. Нильс Бор дал 5 интервью — 7 часов крутилась пленка, записывая его голос. И Поль Дирак дал 5 интервью. Макс Борн — 3. Роберт Оппенгеймер — 3... Оттого-то и выстроились в сейфе архива бесценные папки числом 175.

...Выдвигается глубокий-глубокий стальной контейнер. Папки со стенограммами покойно стоят гуськом — по именному алфавиту: от итальянца Эдоардо Амальди,

одного из римских сотрудников Ферми, до японца Хидеки Юкава, предсказателя ядерных частиц — мезонов. Исторические свидетельства стоят застывшей чередой. Хочется сказать — в бессмертие. Но лучше скромнее: в ожидании все чаще наступающего часа, когда осторожно и жадно за ними протягивается рука очередного историка или литератора, сумевшего или не сумевшего сбросить с себя наваждение солнечного тумана.

Нет, правда, с ними наедине совсем не просто пребывать в трезво оценивающем спокойствии. Все они вместе — как драматическая хроника в лицах, для которой очень подошло бы название романа Пруста — «В поисках утраченного времени».

2

А для собирателей этой хроники те два с лишним года странствий по адресам ветеранов тоже были драматической хроникой, но с иным названием: «В погоне за еще не утраченным временем».

Томас Кун, с čím главенствующим участием прошли 133 интервью из 175, острее всего почувствовал трагизм этой погони в ноябре 1962 года. Тогда для исполнителей программы только-только начался их «европейский год» и по приглашению Нильса Бора куновский штаб обосновался в Копенгагене.

Уже успели записать первую из шести бесед со старейшим боровским ассистентом Оскаром Клейном. Уже успели съездить в Бад-Пирмонт к Максу Борну. Уже списались с главою французских теоретиков Луи де Бройлем о скором свидании в Париже. Уже условились с вдовой Шредингера о встрече в Вене... 7 октября сердечно поздравили с днем рождения патриарха квантовой физики: Бору исполнилось семьдесят семь. И еще через три недели приступили к беседам с ним — к важнейшей из задуманных серий.

Пустилась в долгую дорогу магнитофонная лента, а он рассказывал о своей долгой дороге в незримые глубины материи. По принятой схеме историки возвращали его к началу начал — к годам детства и университетской юности.

В спектре бесчисленных вариантов воспитания будущих мятежников в науке у каждого ветерана прочерчивалась своя линия. Хотелось услышать из собственных

уст Бора, как стартовал он. И они узнавали то, о чем прежде историкам узнать было неоткуда. Среди прочего ему вспомнилось, как в годы студенчества он «собирался писать кое-что философское».

...Оказалось, он искал математическое решение проблемы свободы воли. Если все в природе предопределено и нет у человека свободы выбора поступков, любые этические нормы не имеют смысла: человек заведомо не волен в своем поведении — все разговоры о совести и нравственности теряют опору. А если свобода выбора есть, то как примирить ее с классической причинностью — с вековым убеждением, что в мире все подчинено безусловной необходимости? Теперь, семидесятисемилетний, он с улыбкой называл «сумасбродной» свою юношескую надежду одолеть идущее из глубокой древности философское недоумение с помощью математики. Но каков был студент! С такими духовными притязаниями он должен был пойти далеко. По одному этому эпизоду, право же, с немалой вероятностью уже угадывался будущий ниспровергатель классического детерминизма — господствующего представления об однозначно заданном ходе вещей во Вселенной.

Историки услышали интереснейший рассказ. Уточняли подробности. А он даже делал поясняющие рисунки на черной доске. А магнитофонная лента крутилась...

Виток за витком, как на горной дороге, шла погоня историков за еще не утраченным временем. Старому ученому нелегко давалось восстановление подробностей. В конце четвертого интервью он устал и попросил: «Может быть, мы пока на этом остановимся?» Но до вершины — до главных событий квантовой революции — оставалось еще столько нерассказанного, что он сам поспешил добавить: «Скоро мы снова продолжим».

По программе архивного комитета — и это был в ней, пожалуй, единственный достойный критики пункт — ветеранам предлагалось ограничиться в их исповедях лишь тем, что происходило до начала 30-х годов, ибо там кончалась эпоха бури и натиска. Но Бор успел дойти только до начала 20-х...

17 ноября 62-го он снова, как обещал, пустился в свой поиск полузабытых подробностей, а Томас Кун вместе с датскими коллегами — в свою погоню. Сейчас кажется символической одна деталь: то пятое интервью Бор завершил воспоминанием о копенгагенском философе Харальде

Хеффдинге, который был его университетским учителем. В доме Хеффдинга стояла статуя эллинской богини юности Гебы. И Бору припомнилось странное признание старого философа: тот однажды сказал, что часто поглядывает на Гебу, дабы увидеть, «снисходительна ли она или сурова?» Что-то серьезное слышалось за этим рассказом Бора. Может быть, в подтексте скрывалась мысль: а заслужил ли он, в свой черед, признательность молодых поколений, идущих на смену ему, уловившему в устройстве природы и в структуре нашего знания прежде никем не отмеченные черты?

А на следующий день — 18 ноября — он внезапно почувствовал головную боль. Ушел к себе и прилег. И тихо наступил конец.

...Так ошеломляюще непредугаданно, на полуслове, возник еще и боровский незаполнимый пробел. Теперь и за него могли досказывать недосказанное только документы. К счастью, их осталось много. В его научной переписке сохранилось более шести тысяч писем. И в ранней части рукописного фонда около шести тысяч страниц. Это — начиная со студенческих конспектов и кончая лишь Нобелевской лекцией 1922 года. Бумаги дальнейших сорока лет уже исчерпанной жизни тогда еще нуждались в архивной систематизации.

3

Исполнители архивной программы знали: в личном архиве Нильса Бора уже никогда не отыщутся документы его антифашистской деятельности 30-х годов — времен гитлеризма. Ему пришлось их сжечь весной 40-го года, когда началась немецкая оккупация Дании. Хотя по своим датам (1933—1940) эти документы не вмещались во временные рамки архива квантовой революции (1898—1932), невосполнимой была эта вынужденная утрата: те документы многое могли бы порассказать о трагическом переплетении научной драмы идей с исторической драмой людей.

На нестираемые временем, глубокие следы такого переплетения историки постоянно наталкивались в своем общении с европейскими ветеранами. Отзвуки социальных бурь продолжали звучать в пострадавших душах, даже если это были души абстрактных теоретиков «не от мира сего».

...Когда готовились отправиться к восьмидесятилетнему Максу Борну, Томас Кун резонно решил: надо привлечь к беседам с главою геттингенских теоретиков его бывшего ассистента Паскуалья Йордана. Все-таки тот был на двадцать лет моложе учителя, и потому в его памяти надежней оживут перипетии их совместной разработки математического аппарата квантовой механики.

Потомок наполеоновского солдата-испанца Паскуаль Йордан в гитлеровские времена не покидал Германии. Теперь он был профессором в Гамбурге. Пригласить его в Бад-Пирмонт не составляло труда. Но от старика-учителя пришел резкий отказ принимать у себя прежнего ученика. И это был окрашенный негодованием политический отказ: Борн не мог простить Йордану ни того, что тот в 30-х годах заявил себя пронацистом, ни того, что в 50-х он стал сторонником послевоенного возрождения германского национализма. Борн предупредил Томаса Куна, что еще нетерпимей, чем он сам, Борн, настроена его жена, и потому никогда порога их дома не переступит «этот болван Паскуаль» (так выразился копенгагенский хранитель архива, комментируя случившееся). Пришлось ограничиться приглашением на беседы с Максом Борном — в качестве уточняющего эха — его другого ученика: не менее известного, но уже в свой черед весьма пожилого Фридриха Хунда.

...Немало открывалось историкам такого, что с непредусмотренной стороны обогащало человеческим материалом собрание естественнонаучной академической информации.

Развевалась стародавняя молва о храме отвлеченной науки. Этот храм стоял распахнутым посреди бедствий истории. И его ничем не защищенные служители свидетельствовали, что были они людьми совершенно «от мира сего». В подавляющем своем большинстве они страстно жаждали, чтобы этот мир становился человечней, и делали для этого, что умели (такие, как Йордан, являли собою уродливое и, к счастью, редкое исключение). Так, в погоне за еще не утраченным временем историки узнавали и кое-что важное о социально-нравственной атмосфере квантовой революции.

Магнитофонные записи превращались в стенограммы.
Письма и рукописи — в микрофильмы.

Росло собрание перекопированных материалов истории.

А подлинники документов, если была на то воля собственников, оставались в их руках по-прежнему.

Потом все собранное было размножено в трех экземплярах, чтобы стать достоянием трех равноправных хранилищ архива. Одно разместилось в библиотеке Калифорнийского университета (Беркли), другое — в Философском обществе Америки (Филадельфия), третье — в Институте имени Нильса Бора (Копенгаген). Архив источников к истории квантовой физики стал еще и потому уникальным, что возник сразу в трех копиях для независимого хранения. И для удобства использования его ценностей.

А в 1967 году вышла удивительная книга в строгом сером супере. 176 страниц большого формата и тесной печати. Почти сплошь — за вычетом предисловий — текст без текста: нескончаемая вязь календарных дат, географических названий, биографических справок, библиографических ссылок, мудреных аббревиатур... Имена, имена, имена... Среди них и наши выдающиеся исследователи микромира: А. Иоффе, П. Капица, Л. Ландау, Д. Скобельцын, И. Тамм, В. Фок, Я. Френкель... Заглавия, заглавия, заглавия — написанных и недописанных трудов, прочитанных и непрочитанных лекций, сделанных и не сделанных сообщений... И прочее — все в этом перечислительно-справочном роде... Вот уж и впрямь — книга не для чтения! А между тем...

Это увлекательнейший путеводитель по времени — по первой трети XX века, потрясшей основы классического природоведения и перевернувшей физическую картину мира. Потому-то физики-философы-историки согласны между собой, что для этих трех десятилетий не нашлось бы параллели на протяжении трех веков, протекших с ньютоновских времен.

В сущности, это путеводитель по нашей «хорошей истории, которую лучше всего начинать с начала». Конечно, очень удобно путешествовать с путеводителем, но и очень обременительно. Путеводитель — тяжкая укоризна: вот и этого не успел посмотреть, вот и здесь не сумел

задержаться, вот и тут сплеховал, обойдя стороной памятные достопримечательности... Путеводитель предлагает десятки соблазнительных маршрутов. Но когда возможности путешественника ограничены, он вынужден выбирать с сожалением какой-нибудь один, как правило, самый впечатляющий. А для такого маршрута путеводитель всего менее нужен. И нам вовсе не придется поминутно заглядывать в папки с научными исповедями ветеранов или в папки с их корреспонденцией. Напротив, довольно редко: впереди не науковедческое исследование, а скорее вольное, хоть и невымышленное, повествование о квантовой революции, да к тому же только об ее решающих событиях и ключевых героях.

Почему же захотелось начать с этого совсем необязательного рассказа о рождении архива документальных источников к нашей хорошей истории? А потому, что так без промедлений делается зримым ее масштаб, осязаемым — ее драматизм, волнующей — ее человечность.

За год до смерти Нильс Бор написал: «Было замечательным приключением жить в ту эпоху...»

Так когда же она все-таки началась?

Путеводитель по времени — каталог архива — указывает дату: год 1898-й.

Согласимся.

Еще два слова самооправдания...

О многом из того, о чем будет речь впереди, мне уже случилось рассказывать в трех книгах — «Неизбежность странного мира», «Резерфорд», «Нильс Бор». И хотя эта небольшая книга по замыслу иная, чем те три, можно ли избежать повторений? Заранее знаю — не избежать. И тоже заранее хочу попросить читателя великодушно простить мне это.



1

Девятнадцатый век покидал историческую сцену так, точно ему мало было столетним трудом заслуженного титула — «век пара и электричества». Захотелось наконец утвердиться в отцовских правах и на титул «атомного века». Это ему удалось:

1895 год — открытие рентгеновского излучения.

1896 год — открытие радиоактивности.

1897 год — открытие электрона.

Эти три открытия и вправду возвестили новую эпоху в естествознании.

Первые два феномена поразили воображение современников своей броской таинственностью: некие лучи пронизывали непрозрачные тела насквозь. Они позволяли видеть невидимое. Природа вдруг обнаружила возможности, словно бы вполне мистические.

Третье открытие выглядело гораздо скромнее и темой газетных сенсаций не стало. Оно принадлежало к числу

тех лабораторных побед, какие могут оценить только посвященные. И то не сразу. И не все.

Через сорок лет первооткрыватель электронов — кембриджский профессор Дж. Дж. Томсон — вспоминал:

— Я сделал первое сообщение о существовании этих корпускул на вечернем заседании Королевского института в очередную пятницу 30 апреля 1897 года... Много времени спустя один выдающийся физик рассказал мне, что подумал тогда, будто я всем им нарочно морочу голову. Я не был этим удивлен, ибо сам пришел к такому объяснению своих экспериментов с большой неохотой: лишь убедившись, что от опытных данных никуда не скрыться, я объявил о моей вере в существование тел, меньших, чем атомы.

Так вот что смущало: мысль о реальности тел, меньших, чем атомы! А сегодня может смутить само это признание. Неужели на исходе великого века естествознания физики еще так мало знали о микромире, что у них не было даже уверенности в сложности атомов? Больше двух тысячелетий отделяло их от древних атомистов, а представление о первоосновах вещественного мира было у них едва ли не тем же, что у Демокрита или Лукреция Кара (не трудившихся с утра до вечера ни в каких лабораториях).

Это делает психологически понятной «большую неохоту», с какой пришел к своему открытию сорокалетний глава Кавендишской лаборатории в Кембридже. И это же исторически придает величие его научной заслуге.

Но с другой стороны, разве корпускулы, обнаруженные Томсоном, не были давно предугаданы физической мыслью? Действительно, полутора столетиями раньше — в 1750 году — Вениамин Франклин, мастеривший громотводы, верно почувствовал и резонно рассудил: «Электрическая материя состоит из чрезвычайно тонких частиц». А в 1891 году, за шесть лет до томсоновского сообщения, его соотечественник Джонстон Стони дал уже имя этим гипотетическим частицам — «электроны». Томсон мог не придумывать нового имени для своих корпускул. А это значит, что его «неохота» могла бы уж и не быть столь «большой»...

Его вера в существование электронов, о которой объявил он в 1897 году, еще нуждалась в прямом экспериментальном подтверждении. Надо было показать: вот они — не вычисленные на бумаге в результате косвенных соображений, а реальные, во плоти, смотрите и даже пересчитывайте их, если угодно, по отдельности! Он придумал, как это сделать: он сумел одеть их в капельки

тумана, обволакивающего всякие электрически заряженные пылинки. Электроны в его искусных опытах зримо продемонстрировали свое бытие.

Это произошло уже в следующем — 1898-м — году.

Так началась не законченная и поныне длинная череда всегда волнующих открытий элементарных частиц материи. Но, правда, термина этого тогда еще не было.

2

Драма идей заученно повторяется из поколения в поколение.

Интересно, почему восьмидесятилетний Дж. Дж., публикуя в 1936 году книгу «Воспоминания и размышления», не захотел сказать читателям, кто был тем выдающимся физиком, который воспринял весть об электроне, как морочение головы? Может быть, Томсон решил оберечь его имя от наших сегодняшних просвещенных улыбок?

Вернее всего, то была доброта старости, которая и для себя ищет ответной доброты. Переживший все свое поколение, старый Томсон в ней нуждался. С годами он превратился, по выражению Резерфорда, в «кембриджскую окаменелость», ибо в свой черед воспринял как мороку новые физические идеи, прежде всего квантовые. «Он поставил себя вне физики», как сказал позднее историком Нильс Бор. Не рассчитывая на снисхождение молодых, постаревший Дж. Дж. и жизнь-то повел как бы вне жизни: некогда общительный и легкий, он зажил в отшельническом уединении. В этом уединении он и вспоминал свои звездные годы. И чувствовал: нынешняя ирония по поводу тогдашнего консерватизма его выдающегося коллеги обернулась бы теперь против него самого. Вот он и утаил имя скептика.

Да, не признавать электрона на рубеже атомного века тоже значило поставить себя вне физики, вне ее будущего. Углубляться дальше в устройство природы без электрона она уже не могла. Скоро это стало очевидно всем.

Скоро? Да еще всем? Нет, так только кажется издалека.

Почти неправдоподобно, но открытие «тел, меньших, чем атомы» отверг Вильгельм Конрад Рентген! В своей вюрцбургской лаборатории, где он сам сделал недавно

эпохальное открытие, Рентген запретил ученикам и сотрудникам даже разговаривать об электронах. А в 1900 году, переехав в Мюнхен, перевез туда и свой запрет. В Мюнхенском университете стал строптивым свидетелем и неисправимым нарушителем этого запрета молодой выпускник Петербургского технологического института, наш будущий академик Абрам Федорович Иоффе. Он-то и рассказал впоследствии о своеобразной позиции непреклонного Рентгена.

Но свойствами природы научные позиции не объясняются. Своенравие может объяснить лишь одно: как научное несогласие превратилось в запрет. Характер Рентгена и впрямь отличали последовательность в поступках и непреклонность воли. Позднее эти черты дважды проявились с выразительностью, еще более необычайной, чем в истории с электроном.

...На исходе первой мировой войны (1914—1918) близкая к поражению Германия голодала. Семидесятитрехлетний Рентген терял силы от недоедания. Меж тем друзья из Голландии присылали ему масло и сахар. Однако он, полагая недостойным личное благополучие среди всеобщего бедствия, отдавал эти посылки для общественного распределения. И медленно таял.

Его нравственное чувство всегда оставалось неподкупным.

В последний год его жизни оно сыграло героическую роль в судьбе его научного наследства. Он придавал значение только доведенным до конца исследованиям. И себя судил тем же судом, что других. А потому завещал без колебаний сжечь его неоконченные труды. В огне этой моральной беспощадности погибли и незавершенные работы молодого Иоффе, когда-то начатые в Мюнхене вместе с учителем.

Напрашивается догадка: так не оттого ли суровый Рентген отверг и открытие электрона, что исследования Томсона были в его глазах просто не доведенными до конца — до полной убедительности? (Иначе: были достойными огня, а не одобрения. Запрета, а не продолжения.) Возможно. Тем более что Иоффе удостоверил: электрон оставался для Рентгена «недоказанной гипотезой, применяемой часто без достаточных оснований и без нужды». Короче, может быть, электрону не повезло в Вюрцбурге и в Мюнхене только по причине сверхтребовательности Рентгена-экспериментатора?

Если в этом и заключена правда, то не вся. И не главная. А главная притаилась в двух процитированных Иоффе словах: «без нужды». Рентгену не нужен был электрон. Идеино не нужен!

Его классическая философия природы и философия познания могли обойтись без этой навязчиво-лишней детали вещественного мира. Красивые и выверенные формулы классического описания всех явлений — механических и тепловых, электромагнитных и оптических — не требовали сведений о тельцах, «меньших, чем атомы». И не нуждались в представлениях о сложности внутриатомного мира. Сложность — это сложенность из чего-то. Но для свода законов классической физики она не имела значения.

Как ни странно, это легко понять. А осуждению это и вовсе не подлежит. Тут слышится голос тысячелетий.

— Если мы хотим заниматься астрономией, — говорил мудрый Тимей у Платона, — то нам незачем интересоваться небесными телами.

В самом деле: изучению было доступно в ту пору лишь перемещение небесных тел, а вовсе не их плоть — состав или структура. До них, безмерно далеких, дотянуться можно было только поэтическим воображением. Веками оно могло вольничать как угодно, населяя их богами или душами усопших, наделяя их доброй или недоброй волей. Это не имело никакого значения для описания их движения по небосводу.

Так, для расчета плотины по законам гидродинамики всегда безразлично было, обитают ли рыбешки в реке.

Так, по замечанию Игоря Евгеньевича Тамма, Эйнштейн увидел, что электрон — «чужеземец в стране классической электродинамики». Правда, в отличие от классика Рентгена вольнодумный Эйнштейн не захотел лишать этого чужеземца прав гражданства в физике вообще: ему важно было, а что расскажет электрон о законах пока неизвестной страны, из которой он явился?

Конечно, Рентген далек был от мысли, будто классическая картина природы уже дорисована до конца. Свои лучи он назвал x -лучами и никогда не называл их «рентгеновскими». Им руководило не только отвращение к самовозвеличению. «Икс», как повелось, обозначало неизвестное. Однако он не сомневался, что это неизвестное со временем объяснится классически — на основе уже испытанного физического законодательства. Ему,

Рентгену, и не мнилось, что рентгеновские лучи порождаются в глубинах атомного пространства такими «неужными» и такими «недоказанными» электронами!

Молодой петербуржец Иоффе, чья энергичная талантливость вынуждала Рентгена прощать ему строптивость, ежедневно позволял себе в разговорах с учителем «бороться за электрон». И в конце концов — вместе с новой физикой! — одолел непреклонность старика. Это маленькое, но знаменательное событие произошло через десять лет после открытия томсоновских корпускул — в 1907 году, ничем особенно не замечательном в истории познания микромира.

В том году:

...Тридцатилетний Эрнест Резерфорд лишь обосновывался в Манчестерском университете Виктории, согласившись возглавить тамошнюю лабораторию.

...Двадцатидвухлетний студент Копенгагенского университета Нильс Бор еще учился на четвертом курсе.

...Двадцатилетний Эрвин Шредингер слушал в университете Вены лекции на втором.

...Пятнадцатилетний Луи де Бройль посещал последний класс гимназии в Париже.

...Шестилетний Вернер Гейзенберг в Мюнхене играл со сверстниками в крестики-нолики.

...Льва Ландау еще не было на свете.

У квантовой физики все было впереди.

3

С открытия электрона началось, наконец, конструирование атома: создание его правдоподобных моделей.

Впрочем, люди крылатой мысли пытались угадать атомную структуру задолго до появления в эксперименте «тел, меньших, чем атомы». Но они строили без строительного материала. И плоды их нетерпеливого воображения научной критике не подлежали. Зашите — тоже. Не было критериев правдоподобия. Однако сила интуиции бывала порою поистине фантастической.

Вот дневниковая запись одного студента Страсбургского университета:

22 янв. 1887 г.

Каждый атом... представляет собою полную солнечную систему, то есть состоит из различных атомопланет, вращающихся с разными скоростями вокруг центральной планеты или каким-либо другим способом двигающихся характерно периодически.

Страсбургский студент, конечно, ничего не мог сказать о своих атомопланетах и центральной планете. Но тем не менее за двадцать четыре года до рождения экспериментально обоснованной планетарной модели Резерфорда он дал ее кратчайший графический набросок.

Это был юноша из Москвы — Петр Лебедев. Будущая знаменитость: первый экспериментатор, сумевший измерить такую малость, как давление света! Об его дневниковой записи 1887 года никто не знал в течение семидесяти с лишним лет, пока В. Н. Болховитинов не опубликовал ее в I томе «Путей в незнание» (1960). Так, сам Лебедев не знал, что за полвека до него атом рисовался солнечной микросистемой московскому профессору М. Павлову (чи лекции радовали молодого Герцена). И Джонстону Стони — крестному отцу электрона — представлялся тот же образ. И шлиссельбуржцу Николаю Морозову — высокоученому провидцу-фантазеру — грезились этот же астрономический призрак. И трезво-солидному Жану Перрену тоже. И многим другим — до и после открытия электрона.

До и после... Но все равно каждому это видение являлось точно впервые в истории познания. Тут не было повторения пройденного — не было преемственности идей. Просто в разное время разных счастливых, одаренных конструктивной интуицией, посещал один и тот же вещий теоретический сон. Это выглядит антиисторично, а на самом деле легко объяснимо. Тут всякий раз поднимала голос непреходящая вера людей в единство природы. Она диктовала гадательную мысль, что малое и большое в мироздании — Солнечная система и атом — устроены, наверное, по единому принципу. В этом было совсем немного физики, но очень много натурфилософии. А натурфилософия меняется несравненно медленнее, чем наука.

Те, кому образ солнечной микросистемы стал являться уже после открытия Томсона, обладали, разумеется, громадным преимуществом: обнаружили кандидаты на роль атомопланет. Почему бы электронам не играть эту роль? Или похожую роль... Так, японский теоретик Нагаока сконструировал в начале века атомную модель в виде Сатурна с электронными кольцами. Это выглядело несколько не фантастичней солнечной модели.

Естественно, и сам Дж. Дж. Томсон, выведший электроны на историческую сцену, тоже начал придумывать

атом. Начал без промедлений — уже в 1898 году. Но он не прельстился возвышенными астрономическими параллелями. Он отвел электронам совсем прозаическую роль «изюминок в тесте». (Говорят, это сравнение ему и принадлежало, а вовсе не последующим популяризаторам. И от его «атома-кекса» или «атома-пудинга»; право же, веяло свойственной ему в те годы общительностью и легкостью.)

А что было тестом в томсоновском атоме, если отрицательно заряженные электроны являли собою изюминки? Тестом служило само атомное пространство — «сфера с однородной положительной электризацией», как объявил Томсон. Так обеспечивалась электрическая нейтральность всякого атома как целого. Этому физическому требованию обязана была удовлетворять любая модель.

Но любая атомная модель обязана была удовлетворять и еще одному требованию: быть устойчивой — этим свойством со всей несомненностью обладали реальные атомы долговечного земного вещества. А томсоновский кекс не обладал.

Дело в том, что электроны-изюминки покоились в положительном тесте. Меж тем уже была доказана теорема, объяснявшая, что любая система неподвижных зарядов обречена на развал: силы электрического взаимодействия — притяжения или отталкивания — тотчас выводят заряды из состояния покоя.

Томсону пришлось озаботиться улучшением своей модели. И через шесть лет, в 1904 году, он позволил электронам вращаться внутри атома отдельными группками — кольцами. Однако желанного правдоподобия снова не получалось. Непоправимый порок гнезился в произвольной идее положительно заряженного пространства. Но это пока оставалось нераскрытым — неразоблаченным экспериментально.

Пока... До Резерфорда...

4

Он был учеником Дж. Дж.— первым заморским докторантом в кембриджском старинном Тринити-колледже. Когда в 1895 году двадцатичетырехлетний сын новозеландского фермера там появился, старожилы отнеслись

к нему свысока. Но уже вскоре по Кембриджу распространилась фраза одного заслуженного физика:

— Мы заполучили дикого кролика из страны антиподов, и он роет глубоко!

Правда, слово «кролик» не очень подходило к новозеландцу: высокий рост, атлетическое сложение, громадный голос. Зато эпитет «дикий» подходил как нельзя лучше: признавалась первозданная сила выходца из антиподов и слышался намек на его необузданный нрав. А рыл он действительно глубоко — столько глубоко, что первым дорылся до атомных глубин. Не сразу — пласт за пластом. Но чудом редкой проницательности он не задерживался в толщах пустой породы. Мало кто жил в науке так продуктивно.

Электрон был открыт на его глазах. И даже при его существенном участии, как засвидетельствовал другой ученик Томсона — Р. Стрэтт (Рэлей-младший). Но тогда же воображение новозеландца захватила иная — недавно возведенная во Франции — физическая новость: радиоактивность!

То была еще совсем не изведенная земля. И это он, Резерфорд, распознал в непонятной радиации урана два вида заряженных лучей, окрестив их греческими буквами «альфа» и «бета». Он показал, что альфа-лучи — поток тяжелых частиц с удвоенным зарядом «+», а бета-лучи — поток легких частиц с единичным зарядом «—». И это он установил, что радиоактивность — самопроизвольный распад сложных атомов, идущий по статистическим законам случая. Вместе с еще более молодым Фредериком Содди, он, едва переваливший за тридцать, высказал и доказал ошеломляющее утверждение: в каждом акте радиоактивного распада сбывается сама собой вековая мечта алхимиков — превращение одного химического элемента в другой.

К исходу первого десятилетия нашего века, пожалуй, никто не был так подготовлен к раскрытию структуры атома, как Резерфорд. И ничье воображение не было для этого так хорошо тренировано, как у него...

...Однажды на банкете в лондонском Королевском обществе известный астрофизик Артур Эддингтон глубокомысленно сказал, что электроны, быть может, всего только «умозрительная концепция», а реально они не существуют. Резерфорд встал, и, по словам очевидца,

у него был вид рыцаря, готового вскричать: «Вы оскорбили даму моего сердца!» А вскричал он следующее:

— Электроны не существуют?! Ах, вот как! Отчего же я вижу их так ясно, как эту ложку перед собой?

(Помню, лет десять назад мне случилось пересказать этот исторический эпизод в одной ученой аудитории. Все весело рассмеялись, кроме молоденького доктора химических наук. «Чепуха! — с удивительной серьезностью возразил он. — Наш глаз не может увидеть шарик диаметром в 10^{-13} сантиметра!» И победительно поправил сползающие очки. Раздался насмешливый голос его соседа: «Старик, ты никогда еще не говорил ничего более разумного, но Резерфорда из тебя не получится!»)

Альфа-частицы новозеландец называл «веселыми малышами». Кажется, он вообще питал глубоко личные симпатии — вполне человеческие — ко всем незримым обитателям микромира. Когда в 1932 году его ученик Джеймс Чэдвик открыл предсказанный им, Резерфордом, нейтрон и Нильс Бор обрадованно признал реальность этой новорожденной нейтральной частицы, сэр Эрнест ответным письмом сердечно поблагодарил датчанина — так, точно речь шла и впрямь о пополнении его, Резерфордова, семейства. А к альфа-частицам у него всегда сохранялось особое пристрастие. Они принесли ему решающе важные сведения об устройстве атомов. Как надежнейший тонко проникающий бур, они-то и помогли ему еще в молодости «рыть глубоко»...

Десять лет ушло на установление основных свойств и природы альфа-частиц.

...Масса — четверенный атом водорода. Заряд — в два раза больший, чем у электрона, и притом положительный: +2. Скорость движения при вылете из радиоактивного атома 10—20 тысяч километров в секунду. Химические свойства — как у элемента гелия, сперва открытого в спектрах солнца и только потом на земле...

Десять лет работы! При нынешнем лабораторном инструментарии на выяснение всего этого понадобился бы один месяц, если не один день. Но тогда еще только-только рождались основы для конструирования сегодняшнего инструментария атомной физики. Вместе с идеями рождались ее методы. Среди них — фундаментальнейший: изучение рассеяния микрочастиц при их прохождении через вещество.

Началось это тогда, когда восемь лет работы с альфа-лучами были уже позади, — летом 1906 года в Канаде, где Резерфорд возглавлял физическую лабораторию

Макгилльского университета. Непредвиденное и почти неприметное событие взбудоражило его мысль: узенький пучок альфа-частиц, пронизав тонкий слюдяной листок, чуть-чуть расширился. Вот и все, что случилось. Но отчего это случилось?

Фотопластинка зафиксировала отклонение доли частиц на два градуса от перпендикуляра. Возможно, иные отклонялись еще сильнее, да только почернение пластинки от их падения было, очевидно, нечувствительно слабым. 2° — сущий пустяк. Однако летели-то массивные микропули и притом с огромными скоростями! Что же могло сбить их с прямого пути? По-видимому, только электрическое воздействие встречных атомов, когда они, заряженные альфа-частицы, пронизывали тонкий листок слюды. Несложный расчет дал внушительный результат: тут проявлялось отклоняющее действие силового поля напряженностью в 100 000 вольт на сантиметр. Резерфорд тогда же написал:

«Такой результат ясно показывает, что атомы вещества должны быть средоточием очень интенсивных электрических полей».

Первый же — случайный! — опыт по рассеянию альфа-частиц выводил на дорогу, ведущую в глубь атома. Новозеландец безошибочно почувял это.

Веселые малыши заслуживали его любви.

5

А потом в Манчестере 1909 года — не прошло и трех лет! — произошло вот что:

«Он повернулся ко мне и сказал:— Посмотрите-ка, не сможете ли вы получить некий эффект прямого отражения альфа-частиц от металлической поверхности?»

Не думаю, чтобы он ожидал чего-нибудь подобного, но это было одно из тех «предчувствий», когда появляется надежда, что, быть может, кое-что все-таки удастся наблюдать, и уж во всяком случае удастся прощупать разведкой ту территорию, что соседствует с «землей Тома Тиддлера»...

Так через пятьдесят с лишним лет вспоминал происшедшее ученик Резерфорда, его тезка, Эрнест Марсден. «Земля Тома Тиддлера» — английское иносказание, равносильное русскому «золотое дно». Конечно, с расстояния в полвека открывшееся тогда золотое дно было видно постаревшему Марсдену во всей своей бескрайности. Но в 1909 году даже самому Резерфорду это предчувствие казалось сверхнесбыточным. Прямое отражение альфа-частиц от тоненького листка металлической фольги

означало возвращение их вспять — полет обратно к радиоактивному источнику! Позднее он не раз повторял, что не верил, будто это возможно:

«То было почти столь же неправдоподобно, как если бы вы произвели выстрел по обрывку папиросной бумаги 15-дюймовым снарядом, а он вернулся бы назад и угодил в вас».

Резерфорд не преувеличивал абсурдности ожидаемого эффекта. Альфа-луч походил на острую стрелу, запущенную с чудовищной скоростью из лука. И ей-то предлагалось, вонзившись в бумажную мишень, повернуть от нее в обратном направлении — к еще пульсирующей тетиве!.. Отчего он заказал такой бессмысленный эксперимент совсем юному ученику? Марсдену тогда едва исполнилось двадцать лет, и он только помогал в работе многоопытному доктору из Германии Гансу Гейгеру (тому самому, что позднее прославился как изобретатель счетчика радиации).

Угадывается этическая осмотрительность Резерфорда. Поручить заведомую несурязицу мастеру было бестактно: еще пойдет гулять молва, порочащая его. А неудача подмастерья — другое дело: невелик спрос — не выйдет, так сразу все и забудется... Словом, в самом выборе Марсдена сквозила осознаваемая нелепость задуманного эксперимента.

Трезвость — логика — расчет — солидность... Куда все подвсвалось? Загадочно. Но, может быть, непреходящая готовность послать к чертям признанные нормы трезвой рассудительности и пуститься на риск — это и есть психологическая норма поведения, разрешенная великим работникам науки? (Конечно, загадка так не разгадывается, но хоть очерчиваются ее контуры.)

В общем, юный Марсден трудился не зря! И вскоре Гейгер начал ревностно помогать собственному помощнику: перед обоими замерцала вдали земля Тома Тидлера. Буквально — замерцала. Чтобы следить за рассеянием альфа-частиц, они ставили под разными углами к металлическим мишеням экран из сернистого цинка: отклонившиеся в сторону частицы, падая на такой экран, вызывали на нем мерцание — короткие вспышки-сцинтилляции. По этим вспышкам альфа-частицы можно было считать в темноте зашторенной лаборатории.

Через двадцать семь лет, за год до смерти, Резерфорд с несколько не постаревшим изумлением вспоминал один из весенних дней 1909 года:

«...Гейгер вошел ко мне и в страшном возбуждении сказал: — Нам удалось наблюдать альфа-частицы, возвращающиеся назад!»

В тот день — точно не зарегистрированный — стартовало создание первой научно обоснованной атомной модели. И одновременно стартовала сама ядерная физика.

Но должно было пройти еще около двух лет, прежде чем на исходе 1910-го или в начале 1911 года у Резерфорда появилось право поменяться ролями с Гейгером. Тоже через двадцать семь лет Гейгер в свой черед вспоминал другой памятный день:

«Однажды Резерфорд вошел в мою комнату, очевидно, в прекраснейшем расположении духа, и сказал:

— Теперь я знаю, как выглядит атом!»

На что же понадобились почти два года, разделившие эти симметричные сцены?

6

Они понадобились не столько на повторение экспериментов, сколько на повторное взвешивание-перевешивание возможного истолкования состоявшегося чуда.

Правда, Гейгеру и Марсдену пришлось насчитать в темноте миллион сцинтилляций, чтобы статистически достоверно изучить «бесмыслицу», «несуразицу», «абсурд». То была подвижническая работа. Между прочим, Эйнштейн, по свидетельству Отто Фриша, удивлялся продуктивности альфа-бомбардировок, сравнивая их «со стрельбой по воробьям в полной темноте».

Наш известный физико-химик Николай Шилов, посетивший в 10-х годах Манчестер, написал тогда про альфа-частицы поэтические строки: они «заставляют экран из сернистого цинка блеснуть, как перо жар-птицы, ярким голубым сиянием неопишуемой красоты». Это он наблюдал альфа-лучи, прямо падавшие на экран от источника, без рассеяния в металлических мишенях.

А частицы, возвращавшиеся назад, — другими словами, рассеянные на углы чуть ли не в 180° , — были редкостью: всего одна на 8000 альфа-частиц переживала эту судьбу! И одиночные голубые вспышки от их падения всегда возникали внезапно — через непредсказуемые интервалы. Следовало постоянно быть настороже. Нетерпеливый Резерфорд для такой работы не годился, да и вечно возбужденные его глаза уставали слишком быстро: «Я проклинал все на свете и отступал через две минуты...»

Зато ни на минуту не отступал он от другого — от поисков ответа на вопрос: что же происходит, когда «15-дюймовый альфа-снаряд» поворачивает вспять от мишени? Время пожирала вот эта неустанная работа мысли. И, между прочим, напрасно Резерфордов ученик более поздней поры — 30-х годов — Норман Фезер уверял в своей биографии учителя, что в 10-х годах случился в Манчестере «пустой год». Это все равно что счесть «пустым» время прорастания зерна в земле.

Любопытно, что сам же Фезер отметил: «Резерфорд был поставлен в тупик». Так ведь из тупика есть только два выхода: или уйти назад восвояси, или проламываться вперед. Резерфорд был из тех немногих, что предпочитают проламываться. Еще больше это походило на постепенный снос высокой стены — камень за камнем.

Альфа-частицы в большинстве своем легко пронизывали мишени. Им не удавалось бы это так просто, будь атомы сплошными шариками вещества, накатанными, как в модели Томсона, из положительно заряженного теста. Явно ближе к истине была идея сквозного атома. К слову сказать, еще в 1904 году об этой идее, возникшей тогда на других основаниях, писал Резерфорду его будущий друг австралиец Вильям Брэгг-старший.

В сквозном атоме отрицательные электроны и пока неизвестные носители положительного заряда должны быть разведены друг от друга далеко в стороны. Ну, скажем, как планеты и Солнце: легче легкого пролететь сквозь Солнечную систему, «ничего не задев» по дороге... Ничего? А связывающие все тела силовые поля тяготения? Их, разумеется, не миновать — они заполняют пустоту. И при этом — работают, определяя движение небесных тел с их огромными массами... Но в микромире массы так ничтожны, что гравитационные поля неощутимы. Там все дело в силах электрических. Примерно оценив их еще тогда, когда обнаружилось отклонение альфа-луча на 2° , Резерфорд теперь обдумывал конструкцию атома, способного отклонить альфа-частицу на 180° или — иначе — отшвырнуть ее назад. «Внутри атома должны действовать ужасающие силы...» — порою повторял он ненароком, выдавая ближним скрытую работу своей мысли.

Не могло ли отражение альфа-частицы назад быть результатом постепенного — многократного — отклонения

ее на малые углы внутри мишени? Частица пронизывает множество атомов, углубляясь в мишень. Каждый чуть-сбивает ее в сторону — скажем, на 2° . Один — на два градуса, другой — на два, третий, десятый, сороковой... В сумме — за 90 отклонений — может накопиться нужный эффект: все 180 градусов. Вот частица и вылетает из мишени обратно. Это ли не искомый ответ?

Однако протестовала теория вероятностей. Отклонение предполагало длиннейшую череду поворотов частицы все в одну и ту же сторону — как по заказу! Но для этого не было никаких оснований. Игроку в орел и решку может, конечно, пригрезиться, что он выиграет девяносто раз подряд. Почему бы нет? Да только вероятность такой баснословной серии выигрышей непредставимо мала: $\frac{1}{2}$ в девяностой степени. Такую малость не с чем сравнить. Нет, по законам случая — статистически — вообще не могло получиться сколько-нибудь заметного отклонения: для любой частицы равновероятные отклонения в разные стороны просто взаимно погашались бы... Резерфорд увидел: механизм многократного рассеяния ничего не объясняет. Так что же происходило в мишени?

Выбора не было: если не многократное рассеяние, то однократное. Отражение назад представилось как итог столкновения альфа-частицы с единичным атомом. Он — сквозной! — отбрасывал ее обратно.

Легонькие электроны противостоять тяжелой частице не могли. Оставалось предположить, что есть внутри атома массивная сердцевина, способная на единоборство с альфа-снарядом. Она мала по объему, раз атом почти пуст. Но в ней-то и сосредоточена его главная масса. И весь его положительный заряд, уравновешивающий отрицательный заряд блуждающих в атоме электронов.

В сквозной планетной системе проглянуло могучее Солнце. «Ужасающие силы» могли исходить именно и только от него. Для положительно заряженной альфа-частицы то были силы электрического отталкивания.

...Родилась идея атомного ядра!

Эта идея прекрасно работала. Малость атомной сердцевины хорошо объясняла редкость прямого отражения: для поворота назад частице требовалось подлететь совсем близко к ядру — быть очень прицельной. Только тогда могла она испытать всю мощь отталкивания. Но в крошечное ядро попасть было трудно. Оттого-то это удавалось лишь одной частице примерно на 8000. И другие

подмеченные в опытах Гейгера—Марсдена закономерности объяснялись легко и непринужденно.

Теперь в руках Резерфорда было достаточно строительного материала для конструирования правдоподобной модели атома. В центре — ядро, как Солнце. На периферии — электроны, как планеты. Электроны притягиваются ядром, как всегда взаимно притягиваются разноименные заряды. Но электроны на ядро не падают, потому что пребывают, как планеты, в непрерывном вращении вокруг него. И притом — с достаточной скоростью, чтобы центробежная сила по законам классической механики уравновешивала центростремительную. Словом, точная микромодель огромной Солнечной системы.

И в один прекрасный день на рубеже 1910—1911 годов Резерфорд по праву громогласно объявил в лаборатории:

— Теперь я знаю, как выглядит атом!

7

Все-таки на что же ушли два года? Разве не довольно было долгого зимнего вечера, чтобы обмозговать все рассказанное (и еще многое здесь опущенное)? Весьма возможно, что Резерфорд и впрямь додумался до решения за один вечер. Легко допустить, что зрелище планетарного атома выступило перед его мысленным взором сразу. И даже с полной отчетливостью. Но в полной отчетливости и была беда: он тотчас должен был увидеть, что такой атом по классическим законам не мог существовать!

И все пришлось обдумывать сначала. Однако с тем же результатом. И завтра, и через месяц — с тем же удручающим результатом... Корень зла в том и заключался, что делало планетарную модель точным подобием Солнечной системы: планетоподобное вращение электронов вокруг ядра.

При вращении — даже равномерном — скорость вращения меняется непрерывно: оставаясь неизменной по величине, она все время становится другой по направлению. И потому вступает в действие один из законов классической теории электричества: когда заряды движутся с переменной скоростью, они излучают электромагнитную энергию. Как и что при этом происходит, точно описы-

вается математически. Но представить происходящее в зримых образах трудно (если вообще возможно).

Тут не обойтись без отступления в сторону, на которое, по правде говоря, надо было решиться еще раньше...

...Зримые образы замыкают воображение в круг предметно-вещественных явлений. Вещественных! Однако есть еще круг явлений иных — связанных с силовыми полями в пространстве.

Массы порождают поле сил тяготения.

Заряды — поле электромагнитных сил.

Пустота имеет свое устройство — она вовсе не пуста. И с термина «поле» начинается ее описание.

Этот термин — поэтическая метафора. Она намекает на нечто однообразное бескрайнее, окружающее все тела и как бы засеянное силами взаимодействия между ними. Потому и «поле».

Мне вспоминаются студенческие споры — попытки осязаемо и зримо материализовать математические символы.

Доносится через десятилетия голос сокурсника:

— У Тютчева есть строки — прямо о силовых полях: «Как океан объемлет шар земной, земная жизнь кругом объята снами...» Поля — это сны вещества. Сны наяву — и не бесплотные: «Небесный свод, горящий славой звездной, таинственно глядит из глубины. И мы плывем, пылающею бездной со всех сторон окружены...»

И, продолжая фантазировать, он убежденно говорил, что «пылающая бездна» — это дьявольски точно. До того точно, что даже не образ, а «чистая физика», ибо поля — вместилища энергии. Им всюду можно теоретически приписать вполне определенную температуру. И тэ-дэ и тэ-пэ...

А другой голос уверял, что Фарадею и Максвеллу в их классическом XIX веке надо было заменить термин «поле» термином «море». Больше сходства и гораздо выразительней. Тем более что у электромагнитного поля и у других полей, наверное, тоже волновая природа. Хорошо бы звучало: «море электромагнитных сил»! И есть в этом море свои штиты, свои штормы. Да и для физических тел тогда появились бы естественные подоби: большие тела — как киты в океане, поменьше — всевозможные рыбы, а микрочастицы — как планктон. И уж совсем для полной натуральности картины все это

движется: и волны, и тела. Наконец, поле — плоское, а море — объемное. И прочее, и прочее...

А третий голос — он принадлежал одной нашей милой сокурснице — спорил с первым и со вторым, утверждая, что такие сравнения чрезмерно предметны и слишком грубо отделяют вещество от полей. Меж тем само вещество пронизано силовыми полями: это они соединяют воедино все, из чего тела состоят. Звезды, атомы, ядра в атомах... На последнем этапе дробимости вещества его крупинцы перестают быть отличимы от самих полей: возможно, элементарные частицы — это просто сгусточки полевой материи. «Горбатое поле», как говорил Эйнштейн. И потому не поля — сон вещества, а скорее напротив: вещество — сон полей. Тяжелый сон (и в шутку, и буквально). И так далее — долго еще все в этом роде... Что только не скажется в необязательном разговоре азартных студентов!

Верно было, что предметно зримые параллели тем меньше помогали воображению, чем предметней и зримей они были. Но в этом не заключалось ничего неожиданного. Ведь представление о силовых полях возникло не из повседневного опыта нашей жизни. Оно появилось с углублением физики в подспудную — скрытую от глаза — суть физических событий.

Часто можно услышать, что лишь в нашем веке — с рождением теории относительности и квантовой теории — физика утратила свою былую наглядность.

Былую? Но разве в Ньютоновы времена воображению легче было осваиваться с физической картиной мира? Взаимодействие удаленных друг от друга тел объяснялось тогда, как «действие на расстоянии» — через пустоту — без посредников. Разве это было представимо? Еще в древние времена и в средние века шли долгие споры об идее пустоты. Ее издавна заменила параллельно возникшая идея мирового эфира. Однако всепроникающий и для всего на свете пронизываемый, непрерывный и бесплотный, абсолютно покоящийся и экспериментально непостижимый, был этот эфир еще менее наглядно представим, чем бесхитростная пустота.

А силовые поля объявлены были разными состояниями этой гипотетической мировой среды: эфирными вихрями, натяжениями, вибрациями. Так в XVII веке Декарт объяснял тяготение, а в XIX Максвелл — электромагнитные взаимодействия. Но разве наглядность таких объяс-

нений не была иллюзией, поскольку совершенно непредставимым пребывал сам эфир?

Давным-давно человечество переросло натурфилософскую веру в хрустальные небесные сферы, к которым прикреплены неподвижные звезды (надо же было объяснить, на чем они держатся!). А когда растаяло мифическое видение сфер, звезды не только остались на небе, но получили, наконец, все права самостоятельной физической реальности. Нечто похожее произошло с эфиром и силовыми полями.

В начале нашего века эфир исчез из физической картины природы: теория относительности показала, что ничего абсолютно покоящегося в мире нет. Этот термин сохранился лишь в языке радиопередач («сегодня в эфире»), да еще в редких (и всегда несостоятельных) попытках сызнава привлечь его к делу. Но силовые поля, как звезды, не пострадали. Напротив, тогда-то они и обрели подлинную физическую реальность. В них сосредоточилась энергия всех физических взаимодействий. Они получили статус самостоятельной формы существования материи мира. И если не нашему воображению, то хотя бы «чувству природы» стало легче: бесплотный эфир, как и пустота, был тяжелым и лишним грузом.

А наглядности не ubyло, раз уж и прежде она была только мнимой...

И, пожалуй, стоит прибавить, что Эйнштейн, совершенно в духе Резерфорда, защищавшего реальность электрона, говорил: «Для современного физика электромагнитное поле столь же реально, как стул; на котором он сидит»!

Как же представить, что электрон-планета, вращаясь по классическим законам вокруг солнца-ядра, должен был терять энергию своего движения на излучение электромагнитных волн? Излучение — оно ведь не дается даром. На него надо тратиться. Силовое поле, порождаемое электроном или его порождающее, не будучи бесплотным, само обладает массой: физически — мерой инертности. Пока электрон движется прямолинейно и равномерно, его силовое поле покорно следует за ним или вместе с ним. Но когда взаимодействие с ядром заставляет электрон сворачивать с прямого пути, поле, как шлейф, «заносит в сторону». В меру своей инертности поле противится изменению скорости и «отрывается». Или — излучается в виде электромагнитных волн...

Такой зримый образ, право же, не хуже любой другой наглядной картинки, какую можно здесь изобрести. Любая окажется наивно приблизительной и легко уязвимой.

А существенно тут одно: лишь энергия движения могла бы позволить электрону в планетарной модели сопротивляться притягивающему действию ядра, но как раз она, эта спасительная энергия, вынуждена по классическим правилам непрерывно расходоваться на излучение. А если так, то падение электрона на ядро неминуемо. Каждую «атомопланету» ждет такая судьба.

Резерфорд понял: он увидел обреченный атом.

8

Так многого ли стоило его уверенное восклицание в лабораторной комнате Гейгера, что теперь он знает, как атом выглядит?! Нужно оценить всю тонкость этого восклицания: он ведь не провозгласил, что знает, как атом устроен, а только — как выглядит. Не больше. Но даже для этого надо было сначала решиться на открытую ссору с классикой.

Почти два года ушли, кроме всего прочего, на пережевающийся выбор между смирением и непокорством. Смирение равносильно было признанию неудачи. И тогда публикацию о многолетней работе следовало свести только к описанию опытных данных — без провозглашения планетарной модели. А непокорство настаивало на этой модели — вопреки логике, но с одобрения интуиции. Как во всяком психологическом противоборстве, последнее слово принадлежало характеру — складу природы.

Резерфорд не был бы самим собой, если бы поступил иначе, чем поступил: в мае 1911 года со страниц лондонского «Философского журнала» он всем коллегам объявил, как выглядит атом. Но в начале статьи предупредил:

«Вопрос об устойчивости предлагаемого атома на этой стадии не следует подвергать рассмотрению...»

Это означало: «Господа, я сознаю, что сегодня мой атом вашей критики не выдержит. Он — обреченный. Однако у нашей науки, кроме сегодня, есть еще завтра!»

Ту предупредительную фразу он закончил так:

«...Устойчивость окажется, очевидно, зависящей от тонких деталей структуры атома и движения составляющих его заряженных частей».

Это была исследовательская программа на будущее.

Атомная физика могла принять ее к исполнению, а могла ею и пренебречь. Для этого довольно было не поверить в систему «ядро + электроны». И есть прямое свидетельство, что виднейшие из тогдашних теоретиков и экспериментаторов сначала его программой пренебрегли. Порознь и вместе.

Осенью того же 1911 года 23 выдающихся физика Европы собрались на первый Сольвеевский конгресс в Брюсселе.

(Двадцать четвертым его участником был вдохновитель и организатор конгресса Эрнест Сольвей — стареющий промышленник-меценат, выходец из рабочей семьи, инженер-изобретатель, влюбленный в науку и замороженный загадками строения вещества. Его щедрости обязана физика длящейся и поныне традиции Сольвеевских конгрессов, игравших немаловажную роль в нашей хорошей истории.) Разумеется, среди приглашенных на брюссельскую встречу 11-го года был и Резерфорд. А через полтора месяца после нее он написал Вильяму Брэггу:

«Я был весьма поражен в Брюсселе тем фактом, что континентальные физики... не утруждают свои головы размышлениями о реальных причинах вещей».

А меж тем среди физиков, «не утруждавших свои головы», были на 1-м Сольвее Альберт Эйнштейн, Макс Планк, Гендрик Антон Лоренц, Анри Пуанкаре, Мария Кюри, Поль Ланжевен, Вальтер Нернст... Нужен был чувствительно ранящий повод, чтобы «кролик из антиподов» — даже дикий! — позволил себе столь невежливо обойтись с такой когортой высококолых...

Что же случилось в Брюсселе?

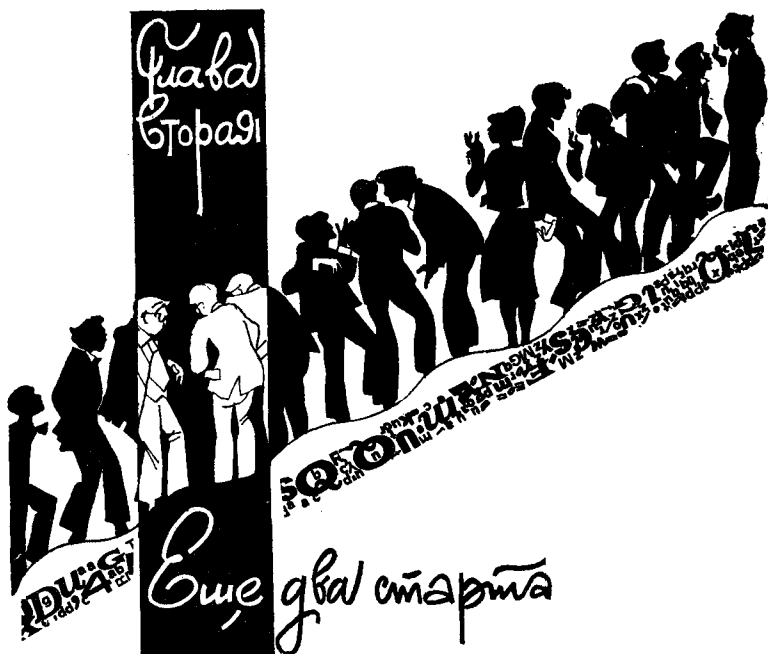
Ничего не случилось! Но это-то и разгневало Резерфорда. Там были обмануты его нетерпеливые надежды. (Они всегда нетерпеливы, когда выношены терпеливо.) Со времени выхода майского выпуска «Философского журнала» прошло полгода, а в Брюсселе не прозвучало ни слова о планетарной модели атома. Точно то был явный и непростительный провал, какие принято в ученой среде обходить шадящим молчанием, особенно если виновник — высокочтимый коллега.

А вообще-то об атомной структуре отнюдь не молчали. Сам Лоренц, автор теории электронов, — он председательствовал на конгрессе — прямо говорил о достоин-

ствах «модели атома, предложенной сэром Дж. Дж. Томсоном». С другой стороны, мюнхенский теоретик Арнольд Зоммерфельд разочарованно уверял, что вообще не желает иметь дела ни с какими «частными гипотезами об атомах». И никто не сказал, что ему хотя бы только приглянулись открытие атомного ядра и появление планетарной модели. Словом, в Брюсселе эти события не были оценены как стартовые вехи в познании микромира.

Однако, может быть, Брюссель был исключением? Нет, в ту пору, кажется, нигде и никого планетарный атом еще не пленил. Странно сказать, даже бывший страсбургский студент Петр Лебедев не высказал своего одобрения, которое было бы так естественно! В коротенькой статье выдающегося московского исследователя «Успехи физики в 1911 году» не упоминаются ни атомное ядро, ни резерфордская конструкция атома. Конечно, это можно оправдать характером лебедевской статьи: он писал свой обзор для широкой публики и потому включил в него только бесспорные и понятные успехи года. А назвать бесспорной и понятной планетарную модель в те времена кто решился бы? Ну да ведь об этом-то тут и идет разговор.

Но нельзя не заметить, что и почти все, о чем шла речь на конгрессе в Брюсселе, тоже свойством бесспорной понятности тогда не отличалось. Шла дискуссия на тему «Излучение и кванты».



1

Слово «квант» родилось на свет вместе с XX веком: оно впервые раздалось в тишине научного заседания 14 декабря 1900 года. Это было традиционное заседание Немецкого физического общества в Берлине. Новое слово произнес университетский профессор Макс Планк.

Похоже, он ни в малейшей степени не сознавал, что открывает в естествознании новую эру. Родившийся в 1858 году, Планк принадлежал в свой звездный час, как и Дж. Дж. Томсон, к поколению сорокалетних. И так же, как Томсон, он тогда почувствовал, что научное открытие — бремя. И тем тяжелее это бремя, чем ощути- мей в открытии принципиальная новизна. Вспомним: тремя годами раньше — в апреле 1897 года — Дж. Дж. не с ликованием, а «с большой неохотой» докладывал лондонским физикам о несомненной реальности электрона, а теперь — в декабре 1900 года — Планк докладывал берлинским физикам о вынужденном введении

понятия «квант» с таким чувством, словно он совершает «акт безнадежного отчаяния».

Его тогдашнее самоощущение тем понятней, что был он образцово добропорядочным и тихо обстоятельным исследователем. Всем своим складом он противостоял расхожей романтической иллюзии, будто на вековечные ценности науки способны посягать только натуры бунтарские.

«Акт отчаяния» — в его сдержанных устах это не было театральной фразой. И не была проявлением безрассудства возникшая у него идея. Он говорил о ней скромнее скромного: «математический прием». Сохранилось интереснейшее признание Планка в письме к искусному экспериментатору Роберту Вуду:

«Это была чисто формальная гипотеза, и, по правде говоря, я не ожидал от нее бог весть чего, разве лишь одного — чтобы любой ценой получился положительный результат».

А дело заключалось в том, что на протяжении шести лет он искал единую формулу для распределения энергии в спектре электромагнитного излучения нагретого тела (в идеальном варианте). То, что было найдено до него, отражалось отдельными формулами крайних случаев испускания длинных и коротких волн. А общее решение проблемы никому не давалось в руки. И ему не давалось, пока... Пока он не увидел, что успех достигается, если предположить... Если предположить кое-что очень странное: свет испускается и поглощается чередой отдельных порций!

Это и явилось его идеей. Для этих-то порций излучения и нашлось слово «квант» (от латинского «квантум» — «сколько»).

Впрочем, дело было, конечно, несравненно сложнее. И драматичнее. Явившуюся ему идею Планк вовсе не сразу осмыслил сполна. Она, эта идея, уже служила его теоретическому построению, а он не давал ей воли. Это походило вот на что: представьте, уже сделано верное изображение действительности, но оно ведет на пленке скрытую жизнь, пока не пущен в ход проявитель. Два десятилетия спустя сам Планк в Нобелевской лекции сказал, что «первый шаг», истинно введивший в картину природы «кванты энергии», сделал не он, а другой исследователь. Справедливости ради, надо, однако, заметить, что тот отважный исследователь, делая свой решительный шаг, честь первенства все-таки отдал План-

ку: он написал, что «Планк ввел в физику новый гипотетический элемент — гипотезу световых квантов».

Так или иначе, а нам сейчас нужно только в простых словах выразить суть происшедшего в физике события.

...Поле и вещество постоянно взаимодействуют. И, стало быть, обмениваются энергией. Без такого обмена нет взаимодействий. И всегда представлялось, что в этом процессе есть черта непрерывности. В каком смысле? В самом удобопонятном.

Излучая свет, тело отдает окружающему полю какую-то часть своей энергии. Но может отдать и чуть больше и чуть меньше. И чуть-чуть больше или меньше. И чуть-чуть-чуть больше или меньше. В общем, это «чуть» может быть сколь угодно малым. А поглощая свет, тело может принять от поля тоже любые дозы энергии. Так, от непрерывной нити можно отрезать кусок, какой нам заблагорассудится. Так, из стакана можно глотнуть столько воды, сколько сумеется. Короче: истинно-непрерывное — сплошное — делится как угодно. И такой непрерывной физической сущностью — как угодно делимой — всегда представлялась энергия. И непрерывными — дробимыми на сколь угодно малые шажки — всегда представлялись физические процессы.

Это аксиоматическое, казалось бы, не нуждавшееся в доказательствах и никем никогда не доказанное, естественное убеждение приобрело силу натурфилософского принципа: «Природа не делает скачков» («натура non facit saltus»).

А Планку пришлось допустить классически недопустимое: энергия излучается и поглощается только целыми квантами! Не может быть испущен квант света и еще чуть-чуть: либо один квант, либо два, три, сто, миллион, но не миллион с осьмушкой или с четвертью. Нет осьмушек, нет долей кванта. Непрерывность исчезала из картины обмена энергией между полем и веществом.

Это пришлось допустить ради вывода правильной формулы. Правильность санкционировал эксперимент. Много лет спустя, говоря о своем историческом сообщении 14 декабря 1900 года, Макс Планк со спокойным удовлетворением вспоминал:

— На следующий день утром меня разыскал коллега Рубенс и рассказал, что после заседания, глубокой ночью, он сравнил мою формулу с данными своих измерений и всюду нашел радующее согласие.

Можно ли представить лучший повод для торжества теоретика!

Но для классика Планка это заслуженное торжество было втайне отравлено антиклассичностью его хорошо работавшей идеи. Ему вовсе не хотелось посягать на принцип непрерывности в картине физических событий...

2

С молодости Планк был верен этому принципу: двумя десятилетиями раньше — в 1879 году — на страницах своей докторской диссертации он уверял, что атомистические взгляды на строение материи приводят к противоречиям. Он полагал, что дробимость вещества не может иметь предела. А теперь принужден был сам допустить, что даже у дробимости энергии есть границы!

Получалось, что кванты — безусловно неделимые сгусточки излучения. Наименьшие из возможных сгусточки света. Настоящие — в первоначальном смысле этого слова — «атомы» электромагнитного поля. И нельзя было сказать себе в оправдание или в утешение: «как бы атомы». Нет, хотя никто еще в 1900 году ничего не знал об устройстве атомов вещества, все же ясно было, что как-то они устроены и, стало быть, делимы. А кванты открылись теоретическому прозрению как нечто, заведомо не поддающееся дальнейшему измельчению. Иначе незачем было бы вводить их в теорию.

У Планка был один выход: отрицать физичность собственной идеи, а признавать лишь ее подсобную — математическую — ценность. Иными словами, введя кванты по необходимости в формулу, в картину природы их не вводить! «Рабочая гипотеза» — не больше. «Строительные леса» — вот и все. Так он и поступил.

(Тут для развлечения можно вообразить, как бенедиктинский монах Бертольд Шварц, изобретая порох и уже устроив громкий взрыв, сказал бы окружающим: «Нет-нет, я пошутил!..»)

Даже через десять лет после своего великого «акта отчаяния» уже стареющий Макс Планк призывал молодого Иоффе очень осторожно обращаться с идеей квантов: «не идти дальше, чем это крайне необходимо» и «не посягать на самый свет». Последнее означало: не думать, будто свет действительно представляет собою поток квантов.

Эта позиция Планка оставалась неизменной до конца его дней, а он умер уже после второй мировой войны почти девяностолетним стариком, зная, как физическая реальность квантов излучения была чудовищно продемонстрирована потрясенному человечеству атомными взрывами над Хиросимой и Нагасаки. Через полтора десятилетия после его смерти Нильс Бор, накануне собственной кончины, говорил историкам в своем заключительном интервью:

— ...В известном смысле можно сказать, что Планк использовал последние сорок лет жизни, если не пятьдесят, на попытки устранить свое открытие из мира.

Почувствовав, что это утверждение звучит, пожалуй, слишком сильно, Бор добавил, что Планк все же испытывал удовлетворение от своего открытия. А как же тогда «попытки устранить»? «Все шло к этому...» — смягчил свое осуждение Бор.

...К счастью для познания природы, жизнь замечательных идей не подвластна воле или безволию их провозвестников. Планк в 10-х годах оттого и предостерегал молодого Иоффе от покушения на природу света, что несколькими годами раньше такое покушение уже предпринял другой молодой исследователь. И притом с несомненным успехом.

То был Эйнштейн. Его-то «первый шаг» и вспомнил Планк в Нобелевской лекции.

Двадцатишестилетнему эксперту 3-го класса из швейцарского бюро патентов почему-то крайне необходимо было то, чего чурался Планк: «идти дальше». В одном и том же 17-м томе немецких «Анналов физики» он опубликовал на протяжении 1905 года три работы, навсегда вошедшие в историю естествознания. Одна открывала путь к окончательному доказательству атомистической структуры вещества. Другая содержала последовательно осмысленные основы теории относительности. Третья вводила в физику квантовую теорию света.

Эйнштейн осмелился провозгласить физическую реальность квантов. Он заговорил о них как о частицах излучения. Буквально: как о тельцах, «локализованных в пространстве»! Если раскрыть это определение, то получится вот что: в своем движении сквозь пространство кванты все время занимают каким-то образом ограниченное место (или «локус» по-латыни). В этом выразилась вся рискованность мысли Эйнштейна.

Превращение, ставшее уделом идеи квантов, выглядит так...

В 1900 году Планк оповестил коллег: отныне излучающие тела отпускают свет теоретикам определенными порциями!

Только теоретикам, потому что на самом деле квантов нет, ими нельзя обладать: отмеренные в момент испускания неизвестным природным механизмом эти порции тотчас сливаются в непрерывный световой поток. Квант — не более чем капля, падающая в океан: там она немедленно теряет свою отдельность, свою локализованность, свою капельность.

В 1905 году Эйнштейн уведомил коллег об иной возможности: испущенные кванты — это корпускулы, сохраняющие в пространстве свою целостность!

Свет отпускается порциями не на мгновение и не только теоретикам: он действительно существует в виде потока квантов. Свидетельством тому законы фотоэлектрического эффекта — возбуждения светом электрического тока, когда световые лучи падают на металл.

Опытные законы этого явления необъяснимы, если свет вымывает из металла блуждающие там электроны, наподобие того, как морские волны постепенно размывают берега. Но эти законы становятся легко выводимыми, если верна другая картина: свет не вымывает, а выбивает электроны. Он обрушивается на вещество, как ливень. Удачливые капли-кванты сталкиваются с попавшимися на их пути электронами и отдают им свой энергетический запас. Энергии квантов и вероятностей столкновений хватает как раз на то, чтобы возникало наблюдаемое истечение электронов — фототок.

Планковские порции излучения, став эйнштейновскими световыми частицами, обнаружили черты крупниц вещества!

Нет, Эйнштейн не сказал в резерфордовском духе, будто теперь он знает, «как выглядит квант». Он не искал для этого предметных сравнений: дробинка... стрела... волновой гребешок. Ему не представилось ничего такого — модельно-механического. Ему довольно было умозаключения: в квантах классического электромагнитного поля явственны свойства обыкновенных частиц.

Как просто и как непонятно! Эйнштейн задал непосильную работу нашему воображению. И непостижимо,

как его собственное воображение смирилось с тем, что тут открылось...

...Вот что произошло в физике микромира еще прежде, чем появилась загадка устойчивости планетарного атома: на протяжении пяти лет — в два приема — стартовала теория квантов, чтобы со своей стороны стать, по выражению Макса Планка, источником непреходящего мучительного беспокойства для ученых.

Однако почему же мучительного?

Но сначала — для ясности ответа — кое-что о другом...

3

Пережил ли и Эйнштейн в час своей решимости хоть малейший приступ отчаяния или ему в отличие от Планка это чувство осталось неизвестным?

Впечатление такое, что за скучным конторским столом в бюро патентов и на приветливых улицах швейцарской столицы он одиноко наслаждался своими теоретическими видениями. И нимало не огорчался из-за их явной несовместимости со здравым физическим смыслом. Чудится: его вела победительная моцартовская беззаботность, когда на протяжении одного года он предлагал дисциплинированно мыслящему читателю «Анналов физики» удивительные плоды своих размышлений. Совсем по Пушкину — как в минуту встречи Моцарта с Сальери:

...Ага! увидел ты! а мне хотелось
Тебя нежданной шуткой угостить...

Кажется даже, что его нежданные и сверхсерьезные шутки никак нельзя было назвать плодами долгих размышлений. Точнее, чем к кому бы то ни было в физике нашего века, подходили к нему слова, сказанные некогда о Леонардо: «Силы в нем было много, и сочеталась она с легкостью». Если в том году — 1905-м — исполнилось ему всего двадцать шесть, то откуда же было взяться сроку на томительно долгое выращивание плодов? Решали не затраченные часы и дни, а мощь и свобода мысли. Пожалуй, свобода поражает еще больше, чем мощь, и легкость — еще больше, чем сила.

Нежданными «шутками» для физического здравого смысла звучали многие утверждения теории относительности.

И ряду из них предстояло сыграть крайне важную роль в нашей хорошей истории.

...Масса всегда почиталась неизменным достоянием всякого тела, пока оно сохраняет свою цельность. А теперь вдруг обнаружилось, что масса относительна: в покое — одна, в движении — другая. Ее величина возрастет с увеличением скорости тела.

Отчего же никто в течение веков не замечал ничего подобного?

Ответ в математическом законе этого возрастания массы: оно ничтожно, пока скорость движения мала по сравнению со скоростью света, и потому совершенно неощутимо в нашем мире медленных и тяжелых вещей. В земном обиходе представляется колоссальной даже скорость звука — 340 метров в секунду. Но эта скорость почти в миллион раз меньше световой: свет пролетает в секунду 300 000 километров. И по закону, установленному Эйнштейном, современный сверхзвуковой самолет тяжелеет в полете примерно на одну триллионную долю своего первоначального веса в покое — на аэродроме. Одна триллионная (10^{-12}) — если масса самолета, допустим, 10 тонн, то это — одна стотысячная грамма. Как ощутить и измерить такую малость? Естественно, что в прежние века, когда земные экипажи двигались совсем уж неторопливо, никакие наблюдения не могли подсказать исследователям мысль о возможной зависимости массы от скорости.

Что же подсказало ее Эйнштейну? Разумеется, тоже не прямые наблюдения. К ней привела неумолимая логика. А она опиралась на открывшиеся ему неклассические черты в устройстве времени и пространства. Ну а эти черты открылись не без участия тонкого и очень точного эксперимента.

В 1881 году — мальчику Эйнштейну из южнонемецкого города Ульма было тогда около двух лет — чикагский физик Альберт Майкельсон провел нашумевшие оптические измерения. Определялась скорость распространения света от земного источника в двух противоположных направлениях: в сторону движения самой Земли и в обратную сторону. Земля летит по своей орбите со скоростью 30 километров в секунду. Ожидалось, что в первом случае скорость света относительно Земли уменьшится на эту величину ($300\,000 - 30$), а во втором — увеличится ($300\,000 + 30$). Результаты обонх измерений

совпали! Не имело значения, догонял ли источник испущенный им свет или удалялся от него. (Оговоримся, что на самом-то деле во втором измерении Майкельсона источник как бы оставался на месте: измерялась скорость светового луча в направлении, перпендикулярном полету Земли, и потому быстрота этого полета на световую скорость вообще влиять не могла. Ясно, что сути опыта это не меняло.) В общем, получалось, что от движения источника скорость света не зависит!

Это вопиюще противоречило классической механике.

Но легче было усомниться в добропорядочности опыта, чем во всемогущих формул. Измерения повторялись со всевозрастающей точностью. Но успокоения не приносили. Напротив, все яснее делалось, что Майкельсон был прав. Двадцать с лишним лет, пока рос и без особого блеска двигался по дороге жизни мальчик из Ульма, умнейшие теоретики выдвигали сложные гипотезы, дабы выручить механику Ньютона из беды. Они не решались сделать только самого простого и самого трудного: признать, что эта механика, великая и совершенная, дошла до границ своей применимости. Очевидно, обнаружилась область движений, попросту ей не подвластная. И надо строить новую механику — такую, что ньютоновская окажется в ней только частью правды природы.

Эту новую механику предложила теория относительности.

Молва тотчас приписала ей ужасающую замудренность — недоступность трезвому разумению. Без стеснения ее называли абракадаброй. В просторечии — бессмыслицей.

Даже через тридцать лет Эйнштейн, уже стареющий, и жаловался, и предостерегал:

«Нельзя считать какое-либо положение бессмысленным только потому, что оно отличается от положения классической физики».

А еще позднее, когда ему было шестьдесят восемь, он в своей «Автобиографии» сказал по поводу одной идеи, что у него нет в ее защиту никаких аргументов, кроме «веры в простоту и понятность природы». Всю жизнь он оставался верен себе. То, что третирувалось как абракадабра, — детище его ранней молодости — тоже родилось из этой философической веры в гармоническую простоту истинной картины мира. Она, эта вера, отвращала юношу Эйнштейна от хитроумных оправданий классической

теории, когда та не умела справиться с трудностями физики. Искусственными допущениями можно было на время выпутаться из любых противоречий. «Но какое отношение имеет к этому природа?» — задавался он молчаливым вопросом.

Это не выдуманный здесь для удобства рассказа риторический вопрос. Почти дословно так сформулировал его сам Эйнштейн, объясняя читателям «Таймс» побудительные мотивы своих исканий.

Юношей он тоже пытался конструировать классические оправдания и для результатов Майкельсона, и для гипотезы Планка. Как это происходило, он в «Автобиографии» не рассказал, но замечательно, что и он вкусил от соблазнов, которые сам же внутренне осуждал. И вот оказывается: его победительная легкость 1905 года имела свою драматическую предысторию. Вполне обыкновенную, если только позволительно называть обыкновенными «страдания мысли, лежащих на сердце», как выразился однажды Нильс Бор. Были месяцы, когда он, двадцатидвухлетний, размышлял на классический лад о непонятном постоянстве скорости света и о планковских квантах, тоже пережил смятение:

«...Все мои попытки приспособить основы физики к этим результатам потерпели полную неудачу. Это было так, точно из-под ног ушла земля и нигде не видно было твердой почвы, на которой можно было бы строить».

И наконец, в его признаниях точно повторились слова Планка — даже дважды:

«Постепенно я стал отчаиваться... Чем дольше и отчаяннее я старался, тем больше я приходил к заключению, что только открытие общего... принципа может привести нас к надежным результатам».

А все-таки... а все-таки его отчаяние было иного свойства, чем у Планка. Тот совершенно не был готов к ставанию с классическим идеалом описания природы, а он, Эйнштейн, был готов к этому совершенно. Пытаясь «докопаться до истинных законов» старыми путями, он, оказывается, уже втайне искал новый общий принцип механики. И что всего неожиданней — искал его уже долго: «Такой принцип я получил после десяти лет размышлений...»

После десяти? Но если в двадцать шесть он его нашел, то, стало быть, начал искать в шестнадцать? Да, именно так. Вопреки поверхностному впечатлению, оказывается, было откуда взяться сроку на долгую работу мысли. В этом-то настойчивом поиске нового общего

принципа его вела подспудная вера в простоту и понятность природы.

Да, радостно наслаждаться своими теоретическими видениями за столом патентного бюро и на улицах Берна он стал не раньше, чем почувял твердую почву под ногами,— не раньше, чем искомый принцип ему открылся. И был он, этот принцип, действительно просто формулируем. Довольно четырех слов, чтобы высказать его без комментариев: время и пространство относительны.

Но без комментариев эти четыре слова не только просты, но и пусты.

4

Классический идеал описания природы покоился на убеждении, что время абсолютно и абсолютно пространство.

Это означало: во Вселенной висят видимые всеми Часы, идущие в едином ритме для всех наблюдателей. Для всех время одно!

То же с пространством: во Вселенной есть единый для всех масштабов расстояний — всегда и всюду равно обязательный эталон длины.

Такая неизменяемость — ни-от-чего-независимость! — хода часов, измеряющих время, и длины линеек, измеряющих пространство, представлялась бесспорной и даже необсуждаемой. Неискушенному сознанию и сегодня кажется, а разве может быть иначе?

...Уже многократно рассказана-перерассказана фантастическая притча об «Эйнштейновых близнецах»: один из них улетает с околосветовой скоростью в космический рейс и, пропутешествовав два года, возвращается домой, а на пороге его встречает брат-двойняшка, постаревший на двадцать лет. И оба не удивляются происшедшему, потому что еще при расставании заранее знали, что ход времени на ракете замедлится в десять раз из-за ее громадной скорости по отношению к Земле. А если бы ракете была задана скорость, еще более близкая к световой, близнец-космонавт путешествовал бы по своим часам еще более короткий срок, скажем, год или месяц. Между тем его оставшийся на Земле брат прожил бы за это малое время все те же двадцать земных лет.

Эта возможная в будущем история фантастична лишь потому, что человечество покуда не может запускать ракеты с околосветовыми скоростями. В остальном все вполне реалистично. И правдива даже та подробность, что оба близнеца — по-прежнему молодой и так наглядно постаревший — встретятся без удивления.

Люди будущего, они с пеленок усвоят относительность времени и пространства, как мы и наши деды-прадеды с пеленок усваивали абсолютность того и другого. Задумаемся: эта примелькавшаяся притча с близнецами до сих пор всюду именуется «парадоксом часов», а парадокс — это нечто несообразное с общепринятым пониманием вещей. Называя научную правду парадоксальной, мы нечаянно признаемся, что еще не можем сладить с ее новизной.

Эту необоримую новизну теория относительности сохраняет по сей день. Сохраняет, хотя давно уже нет на свете «мальчика из Ульма», а найденные им законы природы давно уже служат — и верно служат! — повседневной практике конструирования ускорителей, атомных реакторов и многого другого... О какой же сохраняющейся новизне может идти речь? Вернее было бы говорить о трудно искоренимой «старизне» нашей психологии. Ей принадлежат все наши веры и предубеждения. Среди них: бесконтрольное ощущение универсальности — всепригодности — наших земных секунд и метров. А все оттого, что каждодневный опыт жизни надежно ручается за эту всепригодность.

Эйнштейн недаром написал:

«Прости меня, Ньютон; ты нашел единственный путь, возможный в твоё время для человека величайшей научной творческой способности и силы мысли. Понятия, созданные тобой, и сейчас еще остаются ведущими в нашем физическом мышлении, хотя мы теперь и знаем, что если будем стремиться к более глубокому пониманию взаимосвязей, то должны будем заменить эти понятия другими, стоящими дальше от сферы непосредственного опыта».

Попросив прощения у Ньютона, Эйнштейн как бы попросил прощения и у всех землян вообще: все мы в своем непосредственном опыте насквозь пронизаны наследственным ньютономанством — мускульной философией наших движений и зримой механикой окружающих нас вещей.

Такого рода прощения должны были бы попросить у современников и все вершители квантовой революции: она еще дальше увела нас от нас самих — еще глубже

окунула наше сознание в сферу природных взаимосвязей, неощутимых в земной повседневности.

А откуда вывел Эйнштейн относительность времени и пространства? Он доверился природе.

Она продемонстрировала: скорость света остается одной и той же, догоняет ли источник свет или уносится в противоположную сторону. Короче: от движения «тела отсчета» скорость света не зависит. Юноша из Ульма признал постоянство этой скорости мировым законом.

Он поступил покоряюще просто: неоспоримый факт, противоречивший, однако, механике Галилея — Ньютона, он сделал исходным пунктом новой механики. И тотчас отпала нужда в оправдании странного факта: он автоматически включался в описание движения материальных тел как постулат. Правда, один историк уверяет, что Эйнштейн тогда еще не знал результатов Майкельсона. Возможно. Но так или иначе, а в постоянстве скорости света он не сомневался. Это главное.

От экспериментальных данных он сделал шаг в абстракцию. Коротенький шаг, уводивший, однако, так далеко, что безупречную дорогу в эту физическую даль не сумели проложить ни Антон Лоренц, ни Анри Пуанкаре, расчистившие путь теории относительности, но ее не создавшие.

Никакое движение нельзя описать без выбора «тела отсчета» времен и расстояний. В измерениях чикагского экспериментатора «телом отсчета» дважды был источник света: сначала, когда он вместе с Землей прямолинейно и равномерно двигался вслед за световым лучом, потом — когда он точно так же двигался в другую сторону. Хотя источник был один, получалось, что «тел отсчета» для измерения скорости света было как бы два: Земля, несущая источник, выступила «единой в двух лицах». Да ведь Майкельсон и впрямь провел в одном опыте два опыта, а в принципе он мог провести оба измерения раздельно. Тогда уж без обсуждения было бы ясно, что узнал он скорость света относительно двух «тел отсчета», двигавшихся в свой черед относительно друг друга прямолинейно и равномерно — по инерции. А свет этого точно и не заметил. Нет, действительно не заметил! Его заколдованная скорость оказалась одной и той же.

Можно возразить: Земля летит вовсе не по инерции, а под действием силы солнечного притяжения, и путь ее вовсе не прям, а криволинеен — она описывает эллипс. Это верно. Но радиус ее орбиты так огромен (150 000 000 километров) и период одного оборота так долог (целый год), что за кратенькое время эксперимента позволительно без греха почитать движение Земли прямолинейным и равномерным.

«Тел отсчета», или «систем координат», — превеликое множество: описывать движение можно относительно чего угодно. Однако физики давно уже выделили в особый класс «тела отсчета», движущиеся по инерции. Их так и называют — инерциальные, или Галилеевы системы координат. Есть у них одна привлекательнейшая черта — кроме всего прочего, психологически приятная...

Легко вообразить: физик-наблюдатель сидит на таком «теле отсчета», оснащенный линейками и часами, наблюдает и описывает механические события в мире. А сам при этом не испытывает никакого действия внешних сил и со своей стороны никак не воздействует на окружающее, иначе он тотчас перестал бы двигаться только по инерции. Другими словами, его присутствие в мире никак не отражается ни на происходящих событиях, ни на их описании. И если вообразить другого наблюдателя на другом инерциальном «теле отсчета», о нем можно сказать в точности то же самое. И о третьем, четвертом, любом — то же самое. У всех описания происходящего будут равного достоинства — все они установят в природе одни и те же закономерности, выраженные в одинаковых формулах. Иными словами, все инерциальные системы координат равноправны.

Классики делали из этого равноправия единственное исключение: они полагали, что есть одно «тело отсчета», пребывающее в абсолютном покое. У теологов было для него слово Бог (с большой буквы). Художникам рисовался главный наблюдатель на заоблачном троне. Физики предпочитали говорить об абсолютном пространстве или о мировом эфире.

Да, кстати, опыт Майкельсона и был задуман для ответа на вопрос: дует ли навстречу Земле «эфирный ветер», когда она летит сквозь неподвижный эфир? Так бегун на закрытом стадионе сам создает себе встречный ветер, хотя воздух недвижим. Свет представлялся колебаниями эфира, и «эфирный ветер», дующий навстречу

летающему источнику излучения, должен был бы тормозить световой луч. Обнаруженное постоянство скорости света стало приговором и моделям неподвижного эфира, и взгляду на свет как на «эфирное создание».

Но сторонники научных мифов религиозно неуступчивы. Даже через два десятилетия после рождения теории относительности — после, а не до! — физик Миллер объявил, что он все-таки почуял дыхание эфира. И при этом всерьез отметил, что в стене его высокогорной лаборатории было сделано окно, дабы освободить эфирному ветру путь к прибору. Этой избыточной деталью он нечаянно сам скомпрометировал любимую им идею всепроникающего эфира (если всепроникающий, то зачем же окно?). В начале 30-х годов его коллега Георг Иосс опроверг результаты Миллера, не отказав себе в удовольствии написать: «К сожалению, Миллер не указал, было ли в противоположной стене другое окно, чтобы эфирный сквозняк стал сильнее».

Те несостоятельные опыты сердито комментировал наш академик Сергей Иванович Вавилов. Потому сердито, что в подоплеке тогдашних игр с эфиром лежала надежда выбить из фундамента теории относительности краеугольный камень.

Шаг в абстракцию от измерений Майкельсона привел молодого Эйнштейна к первому постулату его механики:

Относительно всех инерциальных — движущихся прямолинейно и равномерно — систем отсчета скорость света одинакова!

К этому классически абсурдному постулату он прибавил второй, звучавший даже для классического уха как самоочевидность:

Законы природы проявляются одинаково во всех системах координат, движущихся по инерции!

А дальше начались логические следствия — «нежданные шутки» — те, что вскрыли зависимость массы от скорости и многое другое, поныне ставящее в тупик наше бедное воображение...

5

Если для всех наблюдателей, несмотря на их перемещение относительно друг друга, скорость светового луча оказывается одной и той же — 300 000 километров в секунду, — значит, по причине движения что-то у них происходит с километрами и секундами! Не может быть, чтобы у них у всех был общий масштаб длины и общий

ритм времени: тогда наблюдатель, догоняющий луч, увидит бы, что за секунду свет прошел меньшее число километров, чем то, какое отметил бы удаляющийся от луча наблюдатель. Одинаковость полученных ими для скорости света результатов возможна, только если у одного из них врут измерительные приборы. Но оба могут поклясться, что приборы работают с предельной точностью. Тогда оба должны признать, что происходит чудо. Однако для истинного чуда есть в этом расхождении их приборов что-то слишком уж систематическое. Вранье тут явно мнимое: оно узаконено природой. Но как? Оба наблюдателя вынуждены согласиться, что нет у них общего масштаба расстояний и времен. Их приборы замеряют разные километры и разные секунды. Остается уловить, как эти различия зависят от их собственной скорости относительно источника света.

...Ходит анекдотическая история про Эйнштейна: кондукторша в берлинском трамвае однажды отчитала его с досадой: «Беда мне с вами — не умеете вы считать!» Он виновато улыбнулся.

Однозначно ясно, что еще сказала бы она, добавь он к своей арифметической ошибке таинственное сообщение полусшепотом: «А знаете, я вдобавок хочу предупредить вас по секрету, что мои карманные часы, — вот эти, — идут в вашем трамвае чуть-чуть медленнее, чем шли они на остановке, а наш вагон стал чуть-чуть короче, чем был, и — честное слово! — это правда» Угадывается ее уже не досадливый, а сокрушенный голос: «Ах, бедный вы мой, я как чувствовала! И чего ж они, бессердечные, пускают вас из Далльдорфа без провожатых?!» (В Лондоне кондукторша сказала бы — «из Бедлама», в Москве — «из психушки».)

Но нет, не симпатичные кондукторши, а разгневанные профессора позволяли себе говорить об Эйнштейне в этом стиле, только без сочувственного «ах!» А один из них — физик с несомненными заслугами, Нобелевский лауреат, глава института в Гейдельберге, Филип Ленард — человек с бесстрастным лицом и тускло-жестокими глазами иезуита — произносил слова куда более скверные, вдохновляя задолго до Гитлера националистическую травлю «неарийца» — создателя теории относительности. Впрочем, это было закономерно: до Эйнштейна его жертвой стал безупречный ариец Рентген, провинившийся тем, что сумел открыть лучи, которых Ле-

нард в сходных опытах открыть не сумел, хоть и мог это сделать. Честнейшего Рентгена он обвинил чуть ли не в плагиате. Но позже фашизм вознаградил его за нацистские заслуги: в гитлеровской литературе по физике — бывала и такая! — рентгеновские лучи именовались «лучами Ленарда». В глумлении над теорией относительности от него не отставал и другой Нобелевский лауреат — Иоганнес Штарк, тоже одичавший от националистической мечты о гегемонии.

В физике принят термин «релятивистский» (от латинского корня) вместо слов «подчиняющийся теории относительности». Когорту безответственных преследователей своих физических идей Эйнштейн насмешливо называл «Антирелятивистским акционерным обществом с ограниченной ответственностью». Еще в 30-х и 40-х годах нашего века акции этого дружного общества стояли высоко, совсем упав в цене только после поражения гитлеризма...

...Из универсального постоянства скорости света математически легко выводилось, что собственная относительная скорость наблюдателей замедляет ход их часов и укорачивает их линейки. Ритм времени замедляется вообще, а масштаб расстояний уменьшается в направлении движения.

Эйнштейн вызвал бы еще более сокрушенное сочувствие берлинской кондукторши, если бы поспешил добавить: «Нет-нет, вы не слишком огорчайтесь — ширина и высота у вашего вагона те же, что были на остановке, а вот длина, как это ни печально, немножко убавилась, и снова даю честное слово — это правда!»

Когда бы в «парадоксе часов» оставшийся на Земле близнец мог наблюдать стремительно летящего на ракете брата, он увидел бы, что тот заметно сплюснулся в профиль. Этот эффект исчез бы только после возвращения ракеты на Землю: тогда у обоих братьев опять оказался бы один и тот же — прежний — масштаб длины, потому что теперь они опять покоились бы друг относительно друга. И ритм часов стал бы у них вновь одинаковым.

Естественно недоумение: но почему же «уплощение» близнеца-космонавта не оставило по себе реального следа, когда он вернулся из полета, а замедление времени на ракете оставило столь реальный след, что братья превратились в людей разного возраста?

Причиной тому глубокое различие между пространством и временем: в пространстве есть направления «туда» и «обратно», а во времени лишь одно направление — «туда». И возвращение близнеца-космонавта состоялось только в пространстве. А во времени то была уже другая Земля: на ней навсегда утекли 20 земных лет. Восстановился ритм часов, но само время ушло безвозвратно. Братья встретились на другом листке календаря, чем тот, на котором когда-то расстались. А в пространстве они обнялись там же — оно никуда не делось.

Гораздо серьезней другое недоумение (и оно действительно доставило теоретикам немало хлопот). Почему бы в этих рассуждениях не поменять местами близнецов? Всякое движение относительно. Так отчего бы не счесть покоящимся брата на ракете, а движущимся с громадной скоростью брата на Земле? Тогда все перевернулось бы и сохранившим свою юность оказался бы к моменту встречи земной близнец, а постаревшим на двадцать лет — близнец-космонавт. Иными словами, не иллюзия ли этот «парадокс часов»? Пришлось бы и вправду признать, что это так, если б и в самом деле близнецов можно было поменять местами. Но делать этого нельзя: Земля и ракета тут не равноправны. В движении Земли за протекшее время ничего не менялось — она двигалась с прежним постоянством. (Из-за длительности срока нужно говорить об ее полете вместе с Солнцем, оставляя без внимания ее вращение по орбите.) А ракета двигалась не только по инерции: при отлете в космос, при повороте назад, при возвращении она то ускорялась, то тормозилась — словом, переживала то, чего не переживала Земля. Потому и не равноправны истории жизни обоих братьев. И то, что можно сказать об одном, вовсе нельзя сказать о другом...

Еще один — уже знакомый — вопрос напрашивается сам собой: отчего же в прежние века никто не замечал относительности времени и пространства? Ответ тот же, что и на «нежданную шутку» возрастания массы от скорости: все дело в математическом законе замедления времени и сокращения длины.

Он, этот закон, совершенно тот же, что и для увеличения массы: пока скорости малы по сравнению со световой, эти эффекты до крайности ничтожны. Помните? Даже сверхзвуковой лайнер делается в полете массивней всего на триллионную долю своей аэродромной мас-

сы — «массы покоя». Вот так и ход часов в его кабине замедляется всего на триллионную долю земного ритма. И длина его в направлении полета убывает на ту же неощутимую долю. А что уж говорить об еле-еле ползущем трамвае?! Эйнштейн мог поклясться кондукторше, что говорит правду, правду и только правду, но не достало бы чувствительности никаких приборов для экспериментального подтверждения его правоты.

Однако когда скорость приближается к световой, все эти «шутливые уверенья» теории относительности делаются сверхсерьезными. Масса тела начинает расти неудержимо. Ритм времени замедляется неотвратно. Длина сокращается катастрофически. Простенькие формулы — непритязательные, как в школьных задачах по алгебре, где самое сложное действие это извлечение квадратного корня,— начинают показывать картину ошеломляющих последствий. Если бы ракете можно было задать скорость, в точности равную световой, с нею произошли бы по меньшей мере три невозможных события:

- ее масса стала бы бесконечной,
- течение времени на ней прекратилось бы,
- ее длина свелась бы к нулю.

Довольно утраты времени и третьего измерения, чтобы прийти к неизбежному выводу: никакому физическому телу задать световую скорость нельзя! Приближаться к ней можно, но достигнуть ее немыслимо. Она — предел физических скоростей во Вселенной.

Не менее, если не более наглядно твердит об этом закон возрастания массы со скоростью. Даже крошечный электрон — такой невесомый в покое — стал бы бесконечно массивным, когда бы удалось разогнать его до скорости света. А на разгон требуется затрачивать энергию. И чем массивней тело, тем больше энергетические затраты. Ускорители заряженных частиц — эти динозавры техники нашего века — огромны и сложны, кроме всего прочего, потому, что ускоряемые частицы надо в них нагружать колоссальными энергиями. В синхрофазотроне Дубны ядра водорода — протоны — разгоняются до скорости, меньше чем на 1% отличной от скорости света, а для этого их надо снабдить энергией в 10 миллиардов электронвольт. Их масса при этом удесятерится, и они становятся сравнимыми с ядрами углерода. А для запуска со скоростью света — точно со скоростью све-

та! — хотя бы одного-единственного электрона понадобилась бы энергия бесконечная, то есть все энергетические ресурсы природы...

Решительно все доступно только в детских сказках. В этом их прелесть для взрослых — они утешают нас в осознанном бессилии противиться законам естества. Но не сказочники, а научные фантасты лишь до 1905 года — до появления 17-го тома «Анналов физики» — имели право (право неведения!) отправлять своих героев в путешествия по космосу с неограниченной скоростью. А те, кто и позднее позволял себе так фантазировать, конечно, оставались фантастами, но переставали быть научными.

Для всего, что в покое обладает массой, неограниченная скорость — миф. А как же эйнштейновские частицы света — кванты электромагнитного поля? Они ведь не призраки — они вполне ощутимо материальны. Разумеется. Но все дело в том, что у них нет «массы покоя». Она равна нулю. Это кажется противоестественным: разве не очевидно, что если у чего-нибудь материально-го нет никакой массы, то оно попросту не существует? Совершенно справедливо. Однако это только то и означает, что частицы света не существуют в покое. Свет нельзя ни остановить, ни ускорить! Он — воплощение вечного движения с предельно возможной скоростью относительно любых наблюдателей. И в этом своем движении частицы света — кванты энергии — обладают реальной массой. Настолько реальной, что вот ведь сумел Петр Николаевич Лебедев определить давление света.

6

Как и об эйнштейновских близнецах, обо всем этом рассказано-перерассказано тысячи раз. И все же нередко раздается искренне недоумевающий, а то инисходительно жалеющий тебя голос: «Как! Вы не верите, что можно двигаться быстрее света?» Точно это вопрос веры или неверия!

Порою такой вопрос задается искусней: «Вот я мысленно во мгновение ока переносусь на Солнце — так разве мысль моя не обгоняет свет?» Действительно, свету на перелет от Земли до Солнца требуется восемь с лишним минут, а тут — один миг. Но на беду возражающего за этот миг никакого физического процесса между

Землей и Солнцем не происходит. То биофизическое или биохимическое событие, которое имеет место, совершается в пределах нашей черепной коробки. А она невелика. И потому наикратчайшего мгновения достаточно для воображаемого переселения куда угодно — в соседнюю комнату или на Магеллановы Облака, в прошлое или будущее, к черту на кулички или за тридевять земель. Биопроцессам вовсе и не нужна световая скорость, чтобы совершиться в нашем скромном по размерам мозгу.

«А тахионы?» — спросил однажды молодой парапсихолог у молодого физика (что было весьма необычно, ибо телепаты, как правило, заранее знают ответы на все вопросы и меньше всего любят задавать их именно физикам). «А тахионы? Уверен, что как раз эти замечательные частицы, летящие со сверхсветовой скоростью, вызывают телепатические явления. А раз так, то телепатия доказывает реальность тахионов, а тахионы — реальность телепатии!»

Простим смешную нелогичность такой соблазнительной логики. Интересно вот что: это не придумано, а услышано летом 1978 года; и потом еще раз услышано летом 1979-го, когда тот же вопрос задавал уже пожилой философ уже пожилому естествоведнику. Слово «тахион» появилось в 70-х годах. Но для него сразу нашлось место в английском «Словаре современной мысли». Стало быть, оно сегодня — с успехом или без успеха — уже питает чью-то ищущую современную мысль.

Тахион. Гипотетическая частица, движущаяся быстрее света. Из-за «светового барьера» теории относительности тахионы не могут быть получены ускорением обычных частиц. Тахионы должны были бы порождать особого рода электромагнитную радиацию, но ее существование не установлено.

У тахионной гипотезы есть любопытная черта: после 1905 года она могла возникнуть в любой день и где угодно, а могла и вовсе не возникнуть. У физиков не было в ней нужды. Гипотезы появляются не от хорошей жизни — стоит снова вспомнить планковский «акт отчаяния» и эйнштейновское «постепенно я стал отчаиваться». А эта гипотеза появилась скорее от хорошей жизни: ее породило радостное доверие к теории относительности, а вовсе не потребность «поправить» ее. Тахионы — бескорыстная игра ума.

Суть понятна: чисто математически можно так раскрыть эйнштейновские формулы, что скорость света вдруг окажется не верхним, а нижним пределом допус-

тимых скоростей движения. Тогда запретными станут все скорости не выше, а ниже световой. Мы очутимся мысленно в «мире наоборот». Тахионы — воображаемые частицы такого математически разрешенного мира.

Но для телепатических построений такие частицы едва ли пригодны. Тахионы — по идее молодого парапсихолога и пожилого философа — должны служить переносчиками таинственной информации между человеческими особями. Однако эти частицы заведомо не могут испускаться и поглощаться атомными конструкциями того вещества, из которого мы достоверно сотканы. В нашем мире, где сверхсветовые скорости в физических событиях абсурдны, все законы физических взаимодействий должны были бы сначала стать иными, чтобы обеспечить тахионам, во-первых, рождение и, во-вторых, информационную роль.

Дж. Дж. Томсон когда-то не без яда сказал, что природа, по-видимому, создана не для удобства математиков. Можно заметить, что и не для удобства физиков. И уж того меньше — для удобства парапсихологов: их исследовательские муки еще все впереди и дойдут до кульминации не раньше, чем станет доподлинно известно, что же именно надо объяснить...

Когда Эйнштейн просил прощения у Ньютона, ему уже было шестьдесят восемь. Сорок два года прошло со времени появления теории относительности. Ее утверждения давно уже выдержали проверку на истинность. Уже не одно десятилетие физика атома и физика звезд на каждом шагу опирались на ее формулы. А Эйнштейн, обращаясь к Ньютону через века, почему-то заверял своего великого предшественника, что «понятия, созданные тобою, и сейчас еще остаются ведущими в нашем физическом мышлении»!

Отчего такая честь? Разве новая механика не отменила классическую?

Это все равно, что спросить: разве движение со скоростями, близкими к световой, не отменило обычных движений? Нелепый вопрос, не правда ли? А если так, то и классическая механика жива-здорова. Теперь лишь ясно очертилась одна из границ ее применимости — ее плодотворности. Но и эта граница простирается так далеко, что даже нынешняя космонавтика для верного расчета траекторий спутников и космических станций нуждается в эйнштейновских формулах не испытывает. Самые ско-

ростные космические аппараты летят сегодня в десятки тысяч раз медленнее света. И формулы, основанные на старых добрых классических принципах, работают с точностью до 8—9-го знака после запятой.

А кроме широких пределов своей пригодности, старая механика завещала новой веками выработанный словарь познания. И вместе с этим словарем — обширный круг неотменяемых представлений. Эйнштейну в 1905 году не пришлось приниматься за словотворчество: теория относительности могла быть написана и была написана на языке классической физики.

В сущности, единственно новым и решающе важным обогащением старого словаря стало только само название механики Эйнштейна: релятивистская. Физики начали говорить о релятивистских формулах, релятивистской массе, релятивистском импульсе, релятивистских частицах и прочее и прочее. И вот получилось, что одно прилагательное сразу как бы удвоило прежний словарь. Возможности верного описания природы выросли скачком.

Если бы еще умели возрастить скачком возможности нашего воображения!

Теория относительности стартовала на удивление вовремя — как раз тогда, когда начал приоткрываться микромир, где уже почти ничего нельзя было бы достаточно верно описать прежними именами существительными без новых прилагательных: квантовый и релятивистский... Вот уж воистину:

Нам не дано предугадать,
Как наше слово отзовется...

7

Сверх этих двух тютчевских строк просятся в нашу хорошую историю два маленьких эпизода из «Войны и мира». Хотя, разумеется, у Толстого, как и у Тютчева, не о физике речь, да зато о нас с вами. Оба эпизода — о затруднениях нашего воображения, когда оно разлучается с логикой. И о затруднениях нашего понимания, когда оно лишается поддержки воображения.

...Шестнадцатилетняя Наташа Ростова, переполненная впечатлениями жизни и своими смутными чувствами, говорит матери — добросердечно здравомыслящей графине — о Борисе Друбецком:

— ..Очень, очень мил! Только не совсем в моем вкусе — он узкий такой, как часы столовые... Вы не понимаете?.. Узкий, знаете, серый, светлый...

— Что ты врешь! — сказала графиня.

Наташа продолжала:

— Неужели не понимаете? Николенька бы понял... Безухов — тот синий, темно-синий с красным, а он — четверугольный...

Что делать графине? Как ей понять Наташу, если по заведенной логике общедоступных представлений нет на свете «узких, серых, светлых, четверугольных» молодых людей, равно как и «темно-синих с красным»?

Но если «Николенька бы понял», то стало быть что-то такое на свете есть? Наверняка есть: вот ведь и Наташа это «что-то» понимает.

А каково нам? Мы-то с кем — со старой прямодушной графиней («Что ты врешь?») или с юной, всех влюбившей в себя и целый мир обольстившей Наташей («Неужели вы не понимаете?»)? Естественно, нам хочется с тщеславной поспешностью сообщить Наташе, что мы безусловно с нею и, как Николенька, превосходно ее понимаем: нельзя нам перед нею ударить в грязь лицом! Правда, то, что мы при этом искренне или притворно понимаем, может быть, вовсе и не совпадает с Наташиным пониманием. Но это и не важно: Наташа внушает нам странное знание — ни для кого не обязательное и точное только в пределах нашего доверия к проницательности ее детской души.

Однако дело еще сложнее.

Воображение, конечно, вольная птица. Но мы редко замечаем, что вылетает оно из клетки, которую всю жизнь расширяет наше трезвое познание действительности. В эту клетку воображение постоянно возвращается за питательным кормом. Такое независимое и возвышенное, оно на самом деле «ест с руки» — у логики с руки... В ночном разговоре с матерью Наташа лишь то и сделала, что вольно выразила свое логически созревшее суждение — нелестное для Бориса и лестное для Пьера. Она потому и спрашивает — «Неужели вы не понимаете?», что сама уже главное поняла — вполне разумно поняла — про обоих, и даже уверена в своей правоте. Она ведь немножко лукавит: ей просто не хочется окончательности, приговора, решения. И она высказывает свое суждение так, чтобы его нельзя было обсуждать, а можно было бы только схватить налету и без разбирательства принять за истину. Она ставит в тупик гра-

фино, оттого что та не улавливает связи между образом и логикой.

А позднее приходит день, когда в иных обстоятельствах жизни попадает в сходное положение и Наташа. Это когда Толстой дает ее глазами свое знаменитое иронически уничижительное — «остраненное» — изображение оперных сцен:

...В этом серьезном настроении, в котором находилась Наташа, все это было дико и удивительно ей.

...Потом прибежали еще какие-то люди и стали тащить прочь ту девицу, которая была прежде в белом, а теперь в голубом платье. Они не утащили ее сразу, а долго с ней пели, а потом уже ее утащили...

Отчего другие аплодировали, а Наташе все казалось нелепым и стыдным? Может быть, она не понимала происходящего? Нет, Толстой не поскупился сказать, что она заранее знала смысл изображаемого — логика действия была ей известна. Не в том ли все дело, что ее воображение рисовало эти заранее известные события на сцене совсем по-иному? Ее даже осеняло желание «вскочить на рампу и пропеть ту арию, которую пела актриса».

Графине в ночном разговоре следовало смирить свою прописную логику. Наташе в театре пришлось — но не следовало бы! — смирить свое правдивое воображение.

Пришлось! Могла ли она, совсем еще девочка, долго противостоять атмосфере светски-ненатуральных восторгов лож и партера? Созерцание не сцены, а окружающего, сделало свое дело. После третьего акта «Наташа уже не находила этого странным». И наконец:

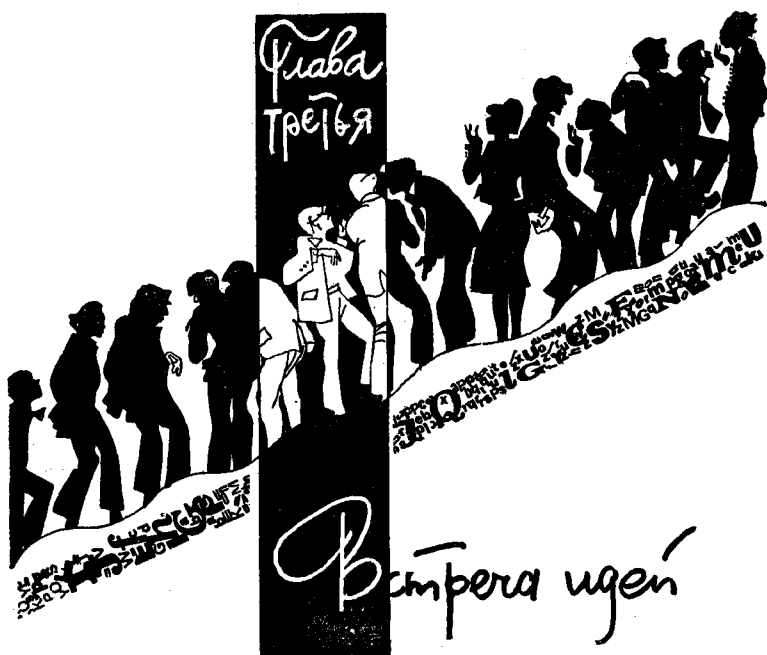
Опять поднялся занавес... Наташа вернулась к отцу в ложу, совершенно уже подчиненная тому миру, в котором она находилась. Все, что происходило перед ней, уже казалось ей вполне естественным.

Между прочим, не заложено ли в этом сравнительно раннем эпизоде романа будущее Наташи Ростовой — благонравие и тривиальность ее взрослой жизни? Смирившееся воображение — непоправимая беда.

...А какое это имеет отношение к нам с вами?

У каждого есть право сказать: «Никакого!»

Но наука — дело человеческое. В поворотные времена ее истории тяжбы между логикой и воображением очень напоминают те, что заурядно происходят в обыкновенной жизни, хоть и остаются незамечаемыми или неосознаваемыми нами.



1

Надо вновь заглянуть на минуту в осенний Брюссель 1911 года — в маленький зал заседаний 1-го конгресса Сольвея, где виднейшие физики Европы, числом 23, четыре дня вели дискуссию о квантах излучения.

Да, минуты хватит... Нам, в сущности, надо лишь услышать две фразы председательствовавшего Генрика Антона Лоренца. Эйнштейн однажды написал о нем: «Он легко и со спокойной уверенностью владел собой так же, как владел физикой». Но в тот раз уверенного спокойствия не слышалось в голосе Лоренца, особенно когда он произносил совсем неученые слова: «Нас не покидает чувство, что мы находимся в тупике».

Правда, он назвал «лучом света» квантовые построения Планка и Эйнштейна, окрестив их «изящной гипотезой об элементах энергии». Однако тут же, без паузы, высказал свои возражения против этой «изящной гипо-

тезы»: ей не находилось места в той физике, которой он столь легко и непринужденно владел.

Получалось, что луч света вовсе не осветил тупика, а скорее ослепил идущих — заморозил их загадочностью. И теперь нужно было еще вдобавок размышлять, как рождаются эти странные «атомы энергии» — кванты излучения. Теперь следовало искать пути примирения их пунктирного существования с принципом непрерывности в ходе физических событий.

Теперь требовалось доискиваться глубинного смысла новой удивительной константы — мировой постоянной величины! — открывшейся теоретическому взору Планка: квантовой константы h .

Она задавала масштаб дробимости излучения. Взятый столько раз, сколько колебаний совершалось за секунду в электромагнитном поле, этот масштаб определял величину кванта: чем высокочастотней излучение, тем солидней, энергичней, массивней квант. Квант зеленого света больше красного, а ультрафиолетовый — больше зеленого, а рентгеновский превосходит по величине все кванты видимого спектра.

У каждого кванта частота колебаний ν своя, но основа дробности и малости u всех квантов общая. Ею служит величина наименьшего физического действия в природе. Вот для этого-то наименьшего действия Планк и ввел свою константу h . Она по справедливости получила название квант действия.

Эта величина невообразимо мала: $6 \cdot 10^{-27}$ в единицах грамм-сантиметр-секунда. Ясно, что такую малость можно измерить только косвенно. Но разные экспериментаторы в разные годы разными путями получили для нее примерно одно и то же значение.

Макс Планк величал квант действия h очень выразительно: «таинственный посол из реального мира».

Явившись на исходе 1900 года и вручив исследователям свои вверительные грамоты, он, этот таинственный посол, сначала несмело, а потом все требовательней стал провозглашать неоспоримые права квантовой страны на достойное место в физическом атласе реального мира. И вот через одиннадцать лет великий Лоренц сказал, что «даже скептики должны признать» эту страну.

В разряд скептиков он не мог не включить и самого себя: он, несмотря ни на что, продолжал именовать теорию квантов гипотезой. И уж всего удивительней, что

сам Планк в Брюсселе говорил о «таинственном послепе», явившимся к нему одиннадцать лет назад, как о фигуре не более чем гипотетической.

Таинственная... гипотетическая... — так можно было бы говорить и о скорости света с тех пор, как в теории относительности она получила права универсальной константы c .

Покуда значилась скорость света всего лишь одной из физических скоростей в бесчисленном ряду других — скажем, вроде скорости звука, — не виделось в ней ничего, требующего особого разумения: ну скорость и скорость, только очень уж большая. И вдруг открылось: она — наибольшая из возможных, да еще ей свойственно поразительное постоянство. Дотоле ее измеряли со всевозрастающей точностью, а теперь стали осмысливать со всевозрастающей придирчивостью. Но объявлять ее гипотетической, даже в этой роли мировой константы, кажется, не решался никто из великих классических авторитетов. Это позволяли себе разве что вкладчики «Антирелятивистского акционерного общества с ограниченной ответственностью». Однако физики со свастикой не в счет — их мнение имело и имеет нулевое значение.

Этой константе теории относительности, может быть, больше повезло, чем квантовой константе, оттого что скорость света в пустоте стала достоянием физических экспериментов еще в конце XVII века. Тогда, в ньютоновские времена, порядок ее величины впервые искусно определил датчанин Ромер.

У квантовой константы такой предыстории не было. Не то что двухвековой, а просто никакой.

Не потому ли на 1-м конгрессе Сольвея и не наблюдалось равноправия между детищами Эйнштейна и Планка? Без колебаний говорилось о теории относительности и с колебаниями о гипотезе квантов. Исторически они были ровесницами, и на стороне обоих числилось достоверное оправдание опытом.

И ведь вот что еще не могло не бросаться в глаза: мировые константы c и h — скорость света и квант действия — обладали внутренним сходством. Этому не мешало то, что первая — величина огромная, а вторая — ничтожно малая. Напротив, так тому и следовало быть: обе являли собою пределы возможного в природе. Тем и сходствовали!

Одна задавала верхний предел, другая — нижний. Одна — для физических скоростей, другая — для физического действия. Но обеим не находилось места в традиционной картине движущейся материи: классика таких пределов не предуказывала. По ее законам физически наибольшее убегало в бесконечность, а физически наименьшее стремилось к нулю. А тут две принципиально непреодолимые и четко обозначенные числом границы допустимого: скорости не отыщутся выше c и действия не сведутся к меньшему, чем h .

Наверное, здесь надобны поясняющие слова.

Хоть и не было никакой предыстории у кванта действия, само понятие «действие» могло похвастать очень величественной биографией. С середины XVIII века оно стало одним из главнейших понятий механики. Тот, кто первым вводил его в описание механических событий, мыслил очень зорко.

На сегодняшнем языке физики это звучит так: ничего на свете не происходит без затрат энергии и времени, но особенно важна их совместная трата — их произведение. Оно показывает, что малая энергия за долгое время производит то же действие, что большая энергия за короткий срок. Вот и достойный термин для этого произведения энергии на время: **действие**.

В XVIII столетии прекрасно образованный драгунский капитан Пьер-Луи де Мопертюи, предпочтя военному ремеслу отшельнические занятия наукой, оставил физике четко сформулированный принцип наименьшего действия:

«Если в природе происходит само по себе какое-либо изменение, то необходимое для этого количество действия есть наименьшее возможное».

...Световой луч, встретив плотное вещество прозрачной линзы, преломится в ней под таким углом, чтобы трата энергии и времени на пролет через стекло оказалась минимальной.

...Камень, свободно падая на землю, выберет в поле тяготения наименее расточительный путь — отвесный.

Всегда и всюду наблюдается в природе этот принцип. Мопертюи видел в нем метафизическое начало — проявление мудрости создателя — управителя Вселенной: конечно, тому должна была бы претить бесполезная растрата времени и работы (хотя не очень понятно, почему его, всемогущего и вечного, могла одолевать такая мелочная

зáбота). Бывший драгун умирал на руках у двух монахов-капуцинов, веруя, что он сподобился стать глашатаем административной тайны провидения. А столетие спустя, в 40-х годах XIX века, благодаря трудам двух выдающихся математиков — Вильяма Гамильтона в Дублине и Михаила Остроградского в Петербурге — принцип Мопертюи стал руководящим в классической механике. Из него вывелись все уравнения движения.

Так слова «наименьшее действие» поселились в физике задолго до Планка. Но они не имели отношения к идее закономерных прерывностей в природе. Напротив, классическое действие менялось непрерывно и запросто могло равняться нулю. Словом, в родословную кванта действия принцип Мопертюи не входил.

Однако же напрашивалась параллель: если классический принцип наименьшего действия универсален — верен и для света, и для камня, и для чего угодно, — почему бы не обладать таким всеобщим значением и некласическому кванту действия!? Тогда h — универсальная константа не только для всех видов электромагнитного излучения, но и для всех силовых полей вообще, равно как и для вещества.

Планк склонялся к подобному обобщению на I-м конгрессе Сольвея. И все-таки... и все-таки называл квант действия еще гипотетическим.

А внутреннее сходство между двумя мировыми константами требовало для них и сходства в теоретических судьбах. Открытие предельной скорости c уже привело к созданию новой — релятивистской — механики. Открытие предельного действия h тоже не могло не привести к возникновению новой механики — квантовой. И даже можно было предвидеть, что обе эти механики со временем сольются в одну — квантово-релятивистскую, столь же надежно верную, как классическая механика, но в более широких границах применимости.

Однако так далеко в будущее тогда не заглядывали: ведь квантовой механики еще не существовало. Председательствовавший на конгрессе Лоренц только выдвинул задачу ее создания. И вот тут-то он произнес вторую из обещанных фраз, ради которых заглянули мы на минуту в осенний Брюссель 1911 года:

— Вполне вероятно, что пока происходит коллегиальное обсуждение намеченной проблемы, какой-нибудь мыслитель в уединенном уголке мира уже дошел до ее решения.

Запомним эту фразу, хотя тогда никто еще не дошел...

Больше того, ни на конгрессе, ни за его пределами, по-видимому, никто еще не предполагал, что путь к искомой механике проляжет через атом. И уж того менее — через невозможный, классически обреченный, планетарный атом Резерфорда. Осенью 11-го года не только никто еще «не дошел», но никто и в дорогу-то по-настоящему не собрался. Или — не знал, не ведал, что он в пути...

...Двадцатипятилетний доктор философии из Копенгагена Нильс Бор томился бесплодной стажировкой в Кавендишской лаборатории у Дж. Дж. Томсона.

...Одиннадцатилетний венский гимназист Вольфганг Паули поздними вечерами осваивал звездную карту неба.

...Десятилетний мюнхенский школьник Вернер Гейзенберг охотно разучивал Шуберта на фортепьяно.

...Десятилетний бристольский мальчик Поль Дирак учился отвечать молчанием на претензии старших.

...Трехлетний бакинский малыш Лев Ландау давал окружающим первые уроки духовной независимости.

2

А в 1958 году, когда праздновалось столетие со дня рождения Макса Планка, пятидесятилетний академик Лев Давыдович Ландау рассказывал ученой аудитории о развитии квантовых идей по праву одного из ветеранов квантовой революции. Но даже ему, ветерану, пришлось начать со времен, о которых у него не могло быть собственных воспоминаний. И все же, когда он объяснял, почему для классической физики явились равно непоправимыми катастрофами квант действия Планка и планетарный атом Резерфорда, чудилось, что он говорит о лично пережитом... Так это многие годы воспринималось учеными современниками тех событий в физике: катастрофы!

Вернейший способ не мучиться идейными катастрофами — закрывать на них глаза. Раз уж они всего лишь идейные (дома не рушатся, и гром не гремит), можно долго делать вид, что решительно ничего не произошло. И не происходит.

Как засвидетельствовал Макс Борн, в годы его молодости даже в самых передовых научных центрах Европы о квантовой катастрофе не разговаривали:

«...Сколько мне помнится, в Геттингене я ничего не слышал о квантах; не слышал я о них и в Кембридже, где весной и летом 1906 года слушал лекции Дж. Дж. Томсона... и проходил экспериментальный курс в Кавендише».

А когда пятью годами позже — осенью 1911-го — там проходил экспериментальный курс и слушал лекции Томсона Нильс Бор, такое же замалчивание стало в Кавендишской лаборатории уделом и другой катастрофы — планетарного атома. Через полвека историк Томас Кун прямо спросил Бора: «Был ли тогда в Кавендише хоть кто-нибудь, кто принял атом Резерфорда всерьез?» Бор ответил отрицательно.

Там этот антитомсоновский атом настолько не приняли всерьез, что не удостаивали даже критики — обсуждения вслух. Что с того, что Манчестер был рядом, а Резерфорд по старой памяти почитался в Кембридже «своим»... Ничто не смягчало научного непризнания. И лишь через полгода после начала кембриджской стажировки Нильс Бор впервые — совсем нечаянно — услышал в Кавендише, что, оказывается, существует другая, нетомсоновская, модель атома — планетарная.

Молодой датчанин отнесся к этой новости по-иному, чем остальные кавендишевцы. «Я поверил в нее тотчас!» — воскликнул он в беседе с историком, вспоминая былое.

Это хорошо подтверждается уже одним тем, что он тогда же — в марте 1912 года — постарался перебраться из Кембриджа в Манчестер. От Томсона — к Резерфорду.

Легко отпуская датчанина, Дж. Дж. не знал, кого он теряет.

Но и Резерфорд, легко принимая датчанина, не знал, кого он приобретает. И уж, разумеется, меньше всего мог он думать, что начинающий доктор философии из Копенгагена станет спасителем его обреченного атома.

Он, Резерфорд, в начале 12-го года был еще полон негодования на «континентальных физиков, не утруждающих свои головы размышлениями о реальных причинах вещей». Бора, по молодости и безвестности, конечно, не было среди участников 1-го конгресса Сольвея, и распространять на него свою досаду у Резерфорда не нашлось бы никаких реальных причин. Но и для веры в звезду копенгагенца не было никаких оснований. Скорее, напротив — «еще один континентальный», только и всего. Однако же он Бора угадал!

Психологически не за что ухватиться, чтобы понять, отчего и как угадал... Многообещающая докторская диссертация Бора по электронной теории металлов Резерфорду была неизвестна. Она лежала в Кембридже и напрасно ждала своего опубликования: Томсон даже не удосужился ее прочитать, пока Бор у него стажировался. Добро бы почувствовал Резерфорд в датчанине родственную душу. Но и этого не могло случиться.

Они были разительно не похожи друг на друга, сын новозеландского фермера и сын копенгагенского профессора. Шумный и тихий. Стремительно решительный и медленно репетирующий решения. Великодушно властный и застенчиво самоуглубленный. И были они разного склада исследователями. Резерфорд говаривал: «Наука проста, если я, простой человек, занимаюсь ею с успехом». Так никогда не мог бы высказаться Бор: он готов был утверждать, что проста природа, но не наука о ней! В студенческие годы ему нравился усложненно-замуренный университетский курс математики профессора Тиле, а в старости он объяснил историкам, почему нравился:

— Понимаете ли, это было интересно юноше, которому хотелось вырваться в суть вещей.

Но вот, пожалуй, этим-то они и сходились между собой.

Может быть, новозеландец, уже сполна доказавший, как глубоко он роет, с первого взгляда ощутил в датчанине ту же страсть — докапываться до глубин. И сразу доверился своему первому впечатлению. Это было в его духе. Так, девятью годами позже он угадал молодого Петра Капицу, приехавшего из революционной России стажироваться в послевоенном Кембридже, и тот на четырнадцать лет стал его любимым сотрудником-учеником.

Резерфорд очень скоро смог убедиться, что он не ошибся в своей — тогда еще молчаливой — оценке Бора. Появившийся в Манчестере на исходе марта 12-го года, датчанин уже к началу мая сделался в глазах Резерфорда знатоком планетарной модели.

Всех занимал вопрос о происхождении электрически заряженных лучей радиоактивных элементов — альфа и бета. Резерфорд их открыл. Резерфорд дал им название. Резерфорд показал, что они рождаются при распаде неустойчивых атомов. Но допытываться подробностей —

что и как происходит с атомами? — нельзя было, пока не существовало правдоподобной атомной модели. И вот появилась планетарная модель: ядро + электроны. Теперь надлежало ясно ответить: из каких частей атома приходят альфа-лучи и бета-лучи?

Не могло быть сомнений, что тяжелые положительно заряженные альфа-частицы вылетают из тяжелых положительно заряженных атомных ядер. А бета-частицы — откуда они? Являя собою обычные электроны, бета-лучи, казалось бы, приходили с периферии атомов — из электронного роя. Не из ядра же, где отрицательных зарядов быть не должно!

Однако самоочевидность такого ответа была обманчивой. Чем же отличался бы тогда радиоактивный бета-распад от привычной ионизации атомов, известной еще со времен Фарадея? Это он, Фарадей, назвал ионами («странниками») такие атомы, которые переставали на время быть нейтральными. Они могли заряжаться положительно, теряя отрицательно заряженные частички. Столкновения, нагревание, химические реакции легко вызывали ионизацию атомов, а потом столь же легко восстанавливалась их нейтральность. Но радиоактивность тут была ни при чем.

Атом, испустивший бета-луч, навсегда превращался в атом другого химического элемента. И никакими воздействиями — ни адским нагреванием, ни дьявольским давлением, ни сильнейшими реактивами — ничего не удавалось изменить в ходе радиоактивного распада. Вот при ионизации электроны наверняка отрывались от электронного роя на периферии атомов. А откуда вылетали они с огромными скоростями при бета-распаде — это представлялось туманным. Но кроме ядра и электронного роя, в планетарной модели ничего третьего не было дано.

Удивительно ли, что в один из майских дней 12-го года молодой радиохимик из Венгрии Дьердь Хевеши — ровесник и приятель Бора — позволил себе задать Резерфорду элементарнейший вопрос: «Альфа-частицы приходят из ядра. Это несомненно. Но откуда приходят бета-электроны?» Разумеется, Резерфорд не промедлил с ответом. Однако то, что услышал Хевеши, звучало неправдоподобно: автор планетарной модели отсылал его к другому авторитету! «Спросите Бора...» — коротко и крѣтко проговорил Резерфорд.

Когда через полвека состарившегося Хевеши расспрашивали об этом эпизоде физики-историки, они, зная нрав Резерфорда и тогдашнюю трудность проблемы, были поражены не меньше, чем в свое время сам венгр.

Хэйлброн: — Резерфорд действительно верил, что Бор это знал?

Хевеши: — О, да! Он никогда не сказал бы «спросите Бора», если бы не был уверен, что у того и в самом деле есть готовый ответ.

Да, Бор отвечал, что и бета-электроны приходят из атомного ядра! Теряя отрицательный электрон, ядро увеличивает свой положительный заряд на единицу, и можно предсказывать, что при бета-распаде должен родиться атом химического элемента, соседствующего с прежним в таблице Менделеева. Уже тогда Бор, хоть и смутно, но представлял себе, что атомное ядро — сложная лаборатория, где могут возникать частицы, которые там вовсе не содержатся...

...В Манчестере почувствовали: у них появился теоретик, кажется, опережающий самого «Папу» — Резерфорда — в осмыслении атомных загадок.

А Бор уже приступал к решению труднейшей из этих загадок: почему устойчивы атомы, если они устроены, как Солнечная система? Если классические законы запрещают планетарному атому существовать, то какие же законы выручают атомы из беды? Почти пятьдесят лет спустя Нильс Бор сказал в лекции памяти Резерфорда:

«В раннюю пору моего пребывания в Манчестере, весной 1912 года, я пришел к убеждению, что строение электронного роя в Резерфордовском атоме управляется квантом действия (постоянной Планка h)».

3

Вот что Бор почуял: в одной катастрофе повинна другая!

И еще: он не утратился ни первой, ни второй, а уловил самую суть научных катастроф. Они прекрасны, потому что, разрушая, создают. Сегодня можно сказать: они — как направленные взрывы, только бы верно понять их направленность.

Спасти планетарную модель — значило объяснить устойчивость атомных размеров. Или: устойчивость электронного роя в атоме.

Все с охотой или огорчением повторяли, что каждому электрону на периферии атома классические законы предусмотрели одну судьбу — падение на ядро. Но никто

не добавлял: может быть, эти законы теряют в атомном мире свою применимость? Поверив в экспериментальную доказанность планетарной модели, Бор отважился на эту простую и мятежную мысль.

Само существование природы было за него. Из атомных миров слагался большой зримый мир, доказывая своим бытием, что у атомов есть конечные устойчивые размеры. Надо было найти объяснение космически громадному и детски простенькому факту глобального масштаба, что у вещества Вселенной есть бог знает какая долгая история. И конца ее не предвидится — вещество мира вовсе не собирается сморщиться, сжаться, исчезнуть, точнее — превратиться в кашу из одних атомных ядер. И все это лишь по причине несговорчивости классических законов физики, которые ни в чем не виноваты, ибо не из атомного опыта природы были извлечены.

Законы классики вообще не давали никаких указаний на возможные размеры атомов: эти законы разрешали электронам, как планетам, вращаться на любых расстояниях от ядра, в том числе и на сколь угодно близких. Но очевидно, среди любых расстояний было наименьшее допустимое. Оно-то и должно было задавать устойчивый размер реального — необреченного — атома.

Помочь найти такой наименьший — разрешенный природой — радиус электронного роя классическая механика не умела. Молодой Бор и не стал пытаться у классических формул того, чего они сказать не могли. Весной 12-го года в Манчестере им овладело теоретическое предчувствие (если предчувствие может быть теоретическим), что должна обнаружиться глубокая связь между двумя «минимальностями» в природе:

- существованием минимальной величины для физического действия и
- существованием минимальных размеров для электронного роя в атомах.

Короче, Нильс Бор вступил на квантовый путь объяснения классически необъяснимого. Теперь в согласии с недавним пророчеством Лоренца ему надо было стать «мыслителем в уединенном уголке мира» и там «дойти до решения».

...Была жизнь затворника в летнем Манчестере. Были дни одиноких раздумий в зимнем Копенгагене. Наконец, уединение сам для себя создавал ищущий разум,

даже когда вокруг клубился шум университетских коридоров.

Это заблуждение, будто шумы извне мешают больше всего остальному сосредоточенно думать: от них не так уж трудно человеку отгородиться невниманием. Главная помеха сосредоточенности — шумы нашей внутренней жизни. Труднее трудного отделяться сознанию от того, что оно само порождает, как неумолчный фон своей активности... То, как умел уходить в себя, а вернее, уходить от себя Нильс Бор, поражало современников.

Однажды он выступал перед берлинскими физиками с рассказом о своих квантовых идеях. Его друг, известный геттингенский экспериментатор Джеймс Франк, вспомнил в интервью историкам, как Бор отыскивал ответы на трудные вопросы дотошных слушателей:

— ...Порою он усаживался неподвижно с выражением совершеннейшего и безнадежного идиотизма на пустом лице. Глаза его становились бессмысленными, фигура обмякшей, безвольно повисали руки, и он делался до такой степени неузнаваемым, что вы не рискнули бы даже сказать, будто где-то уже встречали этого человека прежде. Впору было решить, что перед вами клинический недоумок, да еще без малейших признаков жизни. Но вдруг он весь озарялся изнутри. Вы видели, как вспыхивает в нем искра, и потом он произнес: «Так, теперь я это понимаю...»

То не было случайным наблюдением. Много лет спустя другой физик, Отто Фриш, стал свидетелем точно такой же сцены на коллоквиуме в Копенгагене. А еще позднее Эйнштейн писал о постоянной «загипнотизированности» Бора.

Но даже при таком сверхмастерстве сосредоточенности Бору понадобился почти год, чтобы на вопрос: «Отчего не исчезает вещественный мир, сотканный из планетарных атомов?» суметь однажды ответить: «Теперь я это понимаю...»

Мысль не сразу вышла на кратчайшую дорогу от идеи-догадки до стройной теории. А когда вышла, все было сделано меньше чем за месяц. Как часто бывает, помог случай, который потому и случай, что ни запланировать, ни подстроить его нельзя.

Прошло уже полгода, как Бор вернулся из Англии на родину. Как-то в начале февраля 13-го года он рассказывал о муках своих квантовых исканий бывшему однокашнику по университету Хансу Хансену, ставшему спектроскопистом. Он уверял былого приятеля, что близок к объяснению «свойств материи, зависящих от

системы электронов в атоме». И перечислил важнейшие из таких свойств — устойчивость вещества, химическое поведение, магнетизм...

— А спектры? — с надеждой спросил Хансен. — Как твоя теория объясняет спектральные формулы?

— Спектральные формулы?!

Даже через пятьдесят лет Бор живо помнил и вопрос Хансена и свое недоумение. Рассказывая о том разговоре историкам, он с улыбкой честно признался: «Я ничего не знал ни о каких спектральных формулах»!

Хансен мог только развести руками:

— Тебе необходимо посмотреть эти формулы. Ты увидишь, с какой замечательной простотой они описывают спектры.

— Я посмотрю... — смущенно пообещал приятелю Бор, не подозревая, что в будущем ему придется рассказывать о случившемся как о поворотном событии в истории познания природы.

В тот же день он разыскал в литературе давно известную всем теоретикам (всем, кроме него!) коротенькую формулу Бальмера для водородного спектра. И только взглянув на нее, сразу осознал: вот оно — то, что дает естественное объяснение устойчивости планетарного атома!

Ученик, ассистент и младший друг Бора, бельгийский физик-теоретик Леон Розенфельд удостоверил:

«Он говорил мне не раз: — Как только я увидел формулу Бальмера, все немедленно прояснилось передо мной!»

4

У Бориса Пастернака есть строки: «Однажды Гегель ненароком и, вероятно, наугад назвал историка пророком, предсказывающим назад». Историкам показалось сначала трудно объяснимым, почему Бору самому не пришлось в голову обратить внимание на атомные спектры?

Да и вправду... Он ведь сразу, еще весной 12-го года, набрел на идею, что структура системы электронов в атомах управляется квантом действия. А раз так, то немедленно должна была явиться мысль о квантах излучения. А если о квантах излучения, то значит и о спектрах...

Столь проста эта схема размышлений, что она, конечно, искушала Бора. «Ничего не зная ни о каких спек-

ральных формулах», он тем не менее отлично знал, что атомы разных элементов испускают разные наборы спектральных линий — разные наборы цветных сигналов. Школьным было сравнение: спектры — это визитные карточки атомов. И он понимал, что каким-то образом устройство атомов в них отражается. Но ему думалось, что прямой связи с проблемой устойчивости тут нет. Он очень поэтично объяснил историкам, что его останапливало:

— Спектры воспринимались так же, как прекрасные узоры на крыльях бабочек: их красотой можно было восхищаться, но никто не думал, что регулярность в их окраске способна навести на след фундаментальных биологических законов.

Регулярность в окраске спектральных линий водорода и описывала формула Бальмера. Перефразируя Бора, можно сказать, что никто не думал, будто эта формула способна навести на след фундаментальных физических законов.

Сам школьный учитель Иоганн Якоб Бальмер не думал этого, когда в год рождения Бора — в 1885-м — опубликовал свою формулу. Она явилась результатом долготерпения и веры в упорядоченность природы: должно же было разноцветное свечение водородной субстанции подчиняться какому-то правилу?! Были известны длины световых волн — или частоты электромагнитных колебаний — для частотола спектральных линий этого легчайшего газа. Бальмер пустился в числовую игру и получил свою формулу, ничего не ведая о механизмах излучения. А есть рассказ, по которому он вообще не думал ни о какой физике. Просто он однажды похвастался, что может найти формулу для закономерной связи любых четырех чисел, и его друг дал ему на испытание длины волн красной, зеленой, синей и фиолетовой линий водорода. Бальмер испытание выдержал. И почти двадцать восемь лет — до начала 1913 года — блестящий итог его «игры в числа» оставался физически нерасшифрованным.

Никто даже не видел, что за прозрачно-простой арифметикой бальмеровского правила призывно зияют атомные глубины.

Там, в этом правиле, из одной величины — переменной — вычиталась другая величина — постоянная, и при этом значение переменной величины зависело от смены целых чисел. Только и всего!

Стоило подставить в формулу число 3, и после вычитания получалась частота световых колебаний для красной линии спектра. А число 4 тем же способом давало частоту зеленой линии. Число 5 — синей. Число 6 — фиолетовой. А для других целых чисел линии уходили в ультрафиолетовый конец спектра, глазом неразличимый.

Какая же физика отражалась в этой арифметике бальмеровской спектральной серии?

Тысячи глаз смотрели на коротенькую формулу и не прозревали. Среди смотревших и непрозревавших бывали физики высокого класса. Кажется, Бор до конца своих дней не узнал об одной истории, случившейся за семь лет до его памятной встречи с Хансеном.

...1906 год. Пасхальные каникулы. Весна в Мозельской долине. Придорожный винный погребок. На велосипедах подкатывают двое из Аахена. Старшему — под сорок, младшему — двадцать с небольшим. Они расхваливают мозельвейн. Хозяин предлагает им оптовую сделку. Старший просит в ответ книгу для гостей. А младший навсегда запоминает появившуюся там запись: «Как только я сумею объяснить формулу Бальмера, я приеду к Вам за вином!»

Хозяин смотрит на два велосипедных следа, оставленных уехавшими, и прикидывает, когда же его осчастливит ученый шутник? Но проходят дни, недели, годы, а профессор из Аахена — маленький такой, с большими усами — все не приезжает за вином. Да его уже и нет в Аахене; говорят, он давно профессорствует в Мюнхене...

То был Арнольд Зоммерфельд — тот самый, кто на 1-м конгрессе Сольвея высказал к досаде Резерфорда неверие в любые атомные модели. Но, может быть, именно из-за его нежелания мыслить моделями ему и не далась в руки формула Бальмера?

Ставший не менее известным теоретиком его тогдашний молодой ассистент Петер Дебай рассказал этот эпизод историкам в качестве забавной детали былого. Но шутливая запись Зоммерфельда звучала вовсе не весело: в ней угадывалось обещание приехать, «когда рак свистнет», то есть неизвестно когда. Иначе: проблема формулы Бальмера виделась безнадежной даже многоопытному теоретику. А начинающий датчанин просто не знал, что она существует. Не было ли в таком неведении его преимущества? (Того благого неведения, о котором

говаривал Эйнштейн, когда напоминал с улыбкой, как ему доводилось кое-что открывать в природе лишь по причине незнания, что открыть этого нельзя!)

Увидев формулу Бальмера, Бор уже не мог оторвать от нее взгляда. Его осенило понимание.

То был ярчайший пример откровения — истинная находка для психологов научного творчества. Еще раз подтвердилось, что откровение нисходит только на ищущих. Как и вдохновение, оно не служит предварительным условием успешной работы, а само является первым успехом упрямого труда, когда вдруг становится «далеко видно». Слово «откровение» произнес в беседе с историками сам Бор — так он почувствовал тогда происшедшее.

А произошло вот что...

Бор увидел, что формула Бальмера, в сущности, описывает рождение световых квантов в глубинах водородного атома. Да, рождение порций электромагнитной энергии разных частот: красной, синей, фиолетовой, а там и других порций с частотами, уже не воспринимаемыми человеческим глазом.

Бору все сказали две обыкновеннейшие черты в спектральной формуле: знак вычитания «—» и чередование целых чисел 3, 4, 5, 6... Мысли надо было, право же, очень настрадаться в поисках решения, чтобы так обострилась ее восприимчивость к самым тихим намекам на возможную правду.

Знак «минус» связывал две величины: бóльшую (переменную) и меньшую (постоянную). И оттого, что из первой вычиталась вторая, возникала порция света определенной частоты колебаний! Значит, собственная энергия атома становилась меньше на эту излученную порцию. Стало быть, переменная величина изображала в формуле энергию атома до излучения (потому она и была больше), а постоянная изображала энергию атома после излучения (потому она и была меньше).

Улетевшая порция в одном случае была малой — красный квант, в другом побольше — зеленый квант, в третьем еще больше — синий квант... И это-то зависело от целых чисел, что входили в переменную величину: 3, 4, 5, 6... Чем больше было целое число, тем солидней излученный квант. Тем выше первоначальная энергия атома, с частью которой он расставался при излучении света. Но ведь это означало нечто удивительное: это показывало, что энергия атома не могла быть какой угодно.

Она менялась не плавно, а целыми шажками — прерывисто, как, скажем, меняется нумерация этажей в доме.

Это соображение было равносильно открытию, что в атоме есть пунктирная последовательность уровней энергии.

Каждый излучаемый квант берет старт со своего уровня: красный с одного (не очень высокого), зеленый с другого (более высокого), синий с третьего (еще более высокого)... Так, для бегунов, бегущих по разным дорожкам, старты выстраивают на современных стадионах ступенчато. И нельзя срываться в бег с любого места — только с разрешенной отметки.

А что могло означать постоянство второй величины — энергии атома после излучения? Она, эта остаточная энергия, пребывала одной и той же, какой бы квант ни улетел. Разве это не указывало на существование в атоме самого низкого уровня энергии — как бы первого этажа? Так, для всех бегунов старты хоть и разные, а финишная линия — одна.

Это очередное соображение было равносильно тому желанному открытию, к которому Бор так стремился: у атома есть наинизшее устойчивое состояние с энергией, вовсе не равной нулю! Так как излучают в атоме движущиеся электроны, это показывало, что они не теряют энергию своего движения до конца — не падают на ядро. Во всяком случае в атоме водорода его единственный электрон не опускается ниже какой-то высоты над ядром. Неизвестные законы запрещают ему это сделать. Иначе в формуле Бальмера постоянная величина — энергия после излучения — не была бы конечной: вместо нее стоял бы нуль, то есть ничего не стояло бы.

Внезапно прозревший Бор почувствовал, что наконец-то он вышел на верный путь. В те дни он написал письмо манчестерскому приятелю Дьердю Хевеши, и там была взбалмошная фраза — без необходимых запятых и с лишними вопросительными знаками. Эта фраза выдавала волнение Бора:

«...И надежда, и вера в будущее (может быть, совсем близкое) огромное и непредвиденное??? расширение нашего понимания вещей...»

Неисповедимы пути познания... Бор написал эти строки 7 февраля 13-го года, а всего недель раньше в другом

письме — к Резерфорду — уверял, что «вообще не занимается проблемой вычисления частот, соответствующих линиям в видимом спектре».

Приглядевшись, по совету Хансена, к узорам на крыльях бабочек, он теперь увидел, что они-то и наводят на след фундаментальных закономерностей в атоме. Он увидел, что проблема излучения квантов электромагнитной энергии и проблема устойчивости планетарного атома — это, в сущности, одна и та же физическая проблема.

5

Бор рассказывал историкам, что через два-три дня после хансеновского совета он снова встретился со старым одноклассником-спектроскопистом, дабы объяснить ему «путь рождения спектров». И теперь уже Бор говорил: «Посмотри, разве дело обстоит не так?» И теперь уже Хансен пережил смущение.

— ...Он сказал, что не знает, так ли это. Но я сказал: «С моей точки зрения... ты получаешь все спектральные линии как результат вычитания одной величины из другой». А он сказал, что вовсе не уверен в этом. И потому я должен был прийти к нему вновь...

Судя по всему, он пришел вновь недели через три, когда у него уже готова была рукопись первой части его знаменитой трилогии — «О конституции атомов и молекул». На сей раз он смог предъявить в подтверждение своей правоты не жаркие слова, а холодные цифры, не приблизительные образы, а точные формулы.

(Но наш удел в этой хорошей истории по-прежнему — слова и образы, а если вскорости и проникнут в текст два-три числа, то разве лишь ради их привлекательной выразительности.)

Однако что же смутило Хансена спектроскописта — не знак же вычитания, подчеркнутый Бором?

Для картины, возникшей в рассказе Бора, пожалуй, более всего подходил образ лестницы в атоме — энергетической лестницы с нижней ступенькой, взнесенной над ядром, и с крутыми ступенями, поднимающимися в атомное пространство, где летают электроны.

Каждая ступень этой лестницы — определенный уровень энергии атома. Чем дальше ступень от ядра, тем выше уровень. Так, обычный камень, поднятый на 10-й этаж, обладает большим запасом энергии, чем его двойник, поднятый на 3-й этаж. Оно и понятно: для подъема

первого камня понадобилась большая энергия, чем для подъема второго, а она никуда не девалась, став собственностью системы «камень — земля».

Тут, кстати, видно, что камню — макротелу, подчиненному классическим законам, — эти законы не мешают очутиться над землей на любой высоте и падать с любой высоты: ступенчатой лестницы уровней энергии для него нет — он может застрять и между этажами, приобретая и растрачивая энергию любыми дозами. Права классической непрерывности тут не ущемляются.

А в атоме Бор увидел совершенно неклассическую лестницу разрешенных уровней энергии. И занумерованы были эти уровни целыми числами из формулы Бальмера.

Стало понятно, отчего излучение покидает атом порциями: двигаться по энергетической лестнице атома можно было только вскачь — со ступеньки на ступеньку. Задерживаться меж ступенек, судя по атомным спектрам — всегда линейчатым, а не сплошным! — природа не позволяла. Итак:

- в формуле: череда целых чисел,
- в атоме: череда уровней энергии.

Получалось, что на каждом таком энергетическом уровне атом может пребывать устойчиво, пока не испустит светового кванта. А при испускании этой порции энергии сразу перейдет на нижний устойчивый уровень. И этот переход осуществляется неостановимым скачком — без задержек в пути...

Вот что смутило Хансена: все это выглядело уж очень антиклассически.

...Захотелось, конечно, зримо представить, как строится энергетическая лестница хотя бы в простейшем атоме — водородном. Ясно, что, кроме единственного электрона, планетно вращающегося вокруг ядра, там некому быть строителем такой лестницы. И, кроме его планетных орбит, там нечему служить ступенями разных уровней энергии. Наглядно прорисовалась в атомном пространстве паутина разрешенных природой электронных орбит. На каждой такой орбите у электрона — а вместе с ним и у атома — определенная величина энергии. Итак:

- в формуле: череда целых чисел,
- в атоме: череда орбит электрона.

Получалось, что на каждой из своих орбит, вращаясь вокруг ядра, электрон вовсе не излучает света. Вопреки классическим законам — не излучает! И только когда

сваливается с какой-нибудь орбиты вниз и летит к самой нижней из разрешенных орбит, только тогда он испускает подобающий глубине падения квант. Чем дальше от ядра исходная орбита, тем солидней излученный квант. Тем больше в нем частота электромагнитных колебаний. Тем ближе спектральная линия к фиолетовому концу атомного спектра...

Так вот что еще смутило Хансена: приходилось давать немислимый ответ на коротенький вопрос: какое же отношение имеет к частоте излучаемого света частота вращения электрона вокруг ядра? Нет, вопрос-то был многословный, а ответ коротенький: никакого! Действительно, раз движение по орбите устойчиво — энергия не меняется, ← для процесса излучения совершенно несущественно, как часто облетает электрон ядро.

А в классической физике давно утвердилось обратное представление: с какой периодичностью движутся заряды в излучателе, с такой частотой и отчаливает радиация в пространство. Так думали все. В этом не сомневались ни Максвелл, ни Герц в прошлом веке, ни Лоренц, ни Планк в веке нынешнем. Как же было не смутиться бедняге Хансену, еще не успевшему по молодости лет даже защитить докторскую диссертацию (а диссертация его была к тому же спектроскопической, и теперь выходило, что надо ему на ходу переучиваться).

Если кто до Бора и сомневался в обязательности этого традиционного представления, то все тот же Альберт Эйнштейн. Однако до появления теории Бора он не проговаривался вслух о своем сомнении. А когда в сентябре 13-го года Хевеши нашел повод рассказать ему об экспериментальном подтверждении боровского построения, Эйнштейн воскликнул:

— ...Так, значит, частота излучаемого света вообще не зависит от частоты вращения электрона!.. Это огромное завоевание. Тогда теория Бора должна быть верна.

По другому варианту рассказа Хевеши, «большие глаза Эйнштейна стали еще больше, и он сказал мне: «Тогда это одно из величайших открытий». Но главное, что Эйнштейн сопроводил эту оценку самым неожиданным в его устах признанием:

«...Однажды им овладели очень похожие идеи, но он не осмелился опубликовать их».

Неосмелившийся Эйнштейн!.. — кто бы осмелился возвести такую напраслину на автора теории относительности и квантовой теории света?! Но стало быть, это

не напраслина, раз возвел он ее он сам. Может быть, смелость ушла вместе с молодостью? Ах, нет: в момент этого признания ему было всего 34 года, а в мыслях его уже созревала свертотважная теория тяготения. Дело было явно в другом. Интересно поразмыслить, в чем же именно?

Ему хватило бы отваги, если б хватило доверия к неизбежным выводам из новизны физических закономерностей в атоме. Хотя они тогда проявились еще совсем смутно, он-то со своей пронизательностью тотчас почувствовал, куда дело клонится. Против тех физических идей, похожих на боровские, что «однажды им овладела», запротестовала его же собственная, эйнштейновская, философия природы.

В ее основе лежала безусловная вера, что природа управляется законами однозначной причинности и всякая неопределенность, дающая волю истинному случаю, ей чужда. Это роднило Эйнштейна с творцами классической физики и делало его великим ее завершителем.

Пройдут годы. Он станет выражать это классическое убеждение в своей знаменитой шуточной формуле: «Я не верю, что господь-бог играет в кости!» И мы еще услышим эту его формулу, когда он будет осуждать другую философию природы — ту, что открывает в недрах материи господство неоднозначных законов вероятности. Долгие десятилетия будет безысходно длиться его полемика с Нильсом Бором. И она окажется незатихающей драмой идей в духовной жизни Эйнштейна.

Не началась ли эта драма еще в те ранние годы, когда он «не осмелился опубликовать» идеи, какие осмелился развить в законченную теорию молодой Нильс Бор? В ту пору это была полемика с самим собой — внутренняя полемика Эйнштейна-физика с Эйнштейном-философом.

По частному поводу та полемика могла развернуться очень просто: когда Эйнштейну-физику захотелось объявить, что нет прямой причинной связи между частотой вращения электрона и частотой излученного света, Эйнштейн-философ удержал своего двойника за руку — не позволил осмелиться. Философ как бы прикинул: сегодня — отказ от однозначной связи в одном частном пункте, а завтра — отказ от классической причинности вообще. Нет, это уж слишком! Что-то тут неладно...

А все-таки физик в душе Эйнштейна обрадовался, когда увидел близкие ему идеи воплощенными в теорию атома: «Это огромное завоевание, это одно из величайших открытий!». А гораздо позднее, в старости, Эйнштейн сказал о теории Бора еще и так:

«Это мне кажется чудом и теперь. Это — наивысшая музыкальность в области мысли».

6

Эйнштейн не объяснил, что такое музыкальность мысли. Да и вряд ли это поддается прозаическому истолкованию. Между прочим, в отличие от Эйнштейна — искусного скрипача и в отличие от Планка — искусного пианиста Бор совсем не был музыкантом. Но тут речь о другом — о гармоничности в мышлении. И еще: о чертах гармоничности в самой структуре квантовой теории атома.

При знакомстве с нею невольно вспоминалась «музыка сфер» древних натурфилософов — идея предвычисленной гармонии в движении небесных тел. Вспоминалась пифагорейская гармония целочисленных отношений в устройстве мира.

А на карандашном наброске квантовой модели череда атомных уровней энергии походила на разлиновку нотной бумаги. Довольно было проставить, как нотные знаки, черные точки электронов, скачущих по этим линейкам, и сама собой напрашивалась метафора: так природа играет спектральную музыку цветового разнообразия мира. (Слова о «спектральной музыке» произнес Зоммерфельд.)

Еще вчера ничего не знавший о формуле Бальмера, теперь Нильс Бор обследовал с понятным волнением все подобные формулы, накопившиеся в оптике. Их авторы по примеру швейцарского учителя описывали чередование частот в других сериях спектральных линий, и не только водорода. А последняя по времени создания — самая обобщенная — формула Вальтера Ритца давала такое описание для любых спектральных серий.

Легко вообразить, с каким нарастающим ликованием тихий датчанин снова и снова убеждался в своей правоте: все спектральные линии всегда получались из комбинации двух величин, разделенных знаком вычитания!

А в формуле Ритца вдобавок была новая черта, какой не было у Бальмера: обе величины — и энергия атома после излучения, и энергия до излучения — оказывались переменными, и обе зависели от смены целых чисел. Бор

этого уже ожидал. Такое усложнение объяснялось без труда. Оно обозначало, что электроны, излучая кванты, вовсе не обязаны были каждый раз падать на самую нижнюю ступеньку энергетической лестницы. Электрон мог сверху упасть на любую промежуточную орбиту, разрешенную природой, и начать устойчиво вращаться по ней. И потому энергия атома после излучения тоже может быть переменной.

Иначе: двигаться скачками по лестнице уровней энергии можно как угодно, прыгая через одну, через две, через три ступеньки или на всю глубину. От размаха прыжка зависит лишь величина испускаемого при этом кванта — цвет спектральной линии.

Формула Ритца недаром называлась комбинационным принципом в спектроскопии: к комбинированию целых чисел сводилось вычисление частот в атомных спектрах. До Бора оставалось лишь неведомым, что нумеруют эти целые числа, откуда они берутся... Сеть перенумерованных электронных орбит?.. Нумерация ступенек энергетической лестницы?.. Прерывистая последовательность устойчивых — стационарных — состояний атома?.. Такие образы и понятия не могли присниться физику-классику с его многовековым культом непрерывности в физических процессах.

Вальтер Ритц работал в Геттингене и принадлежал к выдающейся школе спектроскопистов. И сам он обнаружил талант выдающегося исследователя, когда в возрасте тридцати лет опубликовал свой комбинационный принцип (1908). Но он не сумел разглядеть его прозрачного смысла. Равно как и Бальмер, не понял своей формулы. А нам надо понять, что тут не было их вины.

Старый Бальмер умер в 1898 году — за два года до рождения идеи квантов излучения.

Молодой Ритц безвременно ушел из жизни в 1909 году — за два года до рождения планетарной модели атома.

Меж тем этой идее и этой модели следовало не только появиться на свет, но и встретиться в одной голове, чтобы вдруг раскрылся механизм того инструмента, на каком природа наигрывает спектральную музыку. Или менее красиво, но столь же верно: чтобы раскрылся метод, каким природа ведет свои красочные ведомости по расходу-приходу электромагнитной энергии в атомах.

Вместе с объяснением рождения спектров автоматически пришло к планетарной модели избавление от призрака неустойчивости вещественного мира.

Обещанное Резерфордом в 11-м году будущее решение проблемы устойчивости теперь логически вытекало из двух постулатов, провозглашенных Бором. Нам они уже знакомы — тут все время шла речь именно о них:

— по первому постулату у атома есть прерывистая последовательность стационарных состояний,

— по второму постулату при переходах между этими состояниями атом излучает кванты энергии.

Сразу видно: среди набора возможных стационарных состояний одно отлично ото всех прочих — оно ниже остальных по уровню энергии. И потому из этого состояния атому спускаться уже некуда. Потеря энергии в таком состоянии атому уже не грозит — он может пребывать в нем сколько угодно!

На языке электронных орбит это значило, что в атоме есть первая разрешенная электрону орбита — ближайшая к ядру. Ниже электрону уже не найти пути для вращения — нет никакого целого числа между 0 и 1.

Двадцать с лишним лет спустя, пародируя английскую балладу «Дом, который построил Джек», физики сочинили в Копенгагене песенку — к 50-летию своего шефа — «Атом, который построил Бор». Этот атом походил на свайные небоскребы, придуманные Ле Корбюзье: все этажи нормально покоятся один на другом, и только первый этаж не покоится на земле — он висит в воздухе, держась на бетонных сваях. Так и первая орбита в атоме проходит высоко над ядром, но пространство между ядром и этой орбитой — нежилое для электрона: там нет никакого разрешенного уровня энергии. На первой орбите электрон может вращаться бессрочно.

Это состояние атома отличается, стало быть, наибольшей устойчивостью. Бор назвал его **основным**. И тотчас приобрел разумный смысл вопрос о размерах атома. Любая орбита задавала собою его возможные границы — он мог как бы раздуваться. Но самыми нерушимыми и тесными границами были те, что очерчиваются ближайшей к ядру орбитой. Ее радиус и следовало принять за нормальный размер атома.

Бор сумел его вычислить: порядка 10^{-8} сантиметра.

Стомилионная доля сантиметра — 1 ангстрем... Физикам и химикам была уже знакома эта величина для

атома водорода: ее получали по косвенным оценкам из экспериментальных данных. А теперь ее удалось вывести прямо из атомной структуры! Это произвело сильнейшее впечатление на современников.

И не меньшее впечатление произвело еще одно число: 109 000.

Такое значение Бор получил для спектроскопической константы, входившей во все спектральные формулы. Ее называли константой Ридберга. Опытная ее величина равнялась 109 675.

Согласие теории и эксперимента было поражающим.

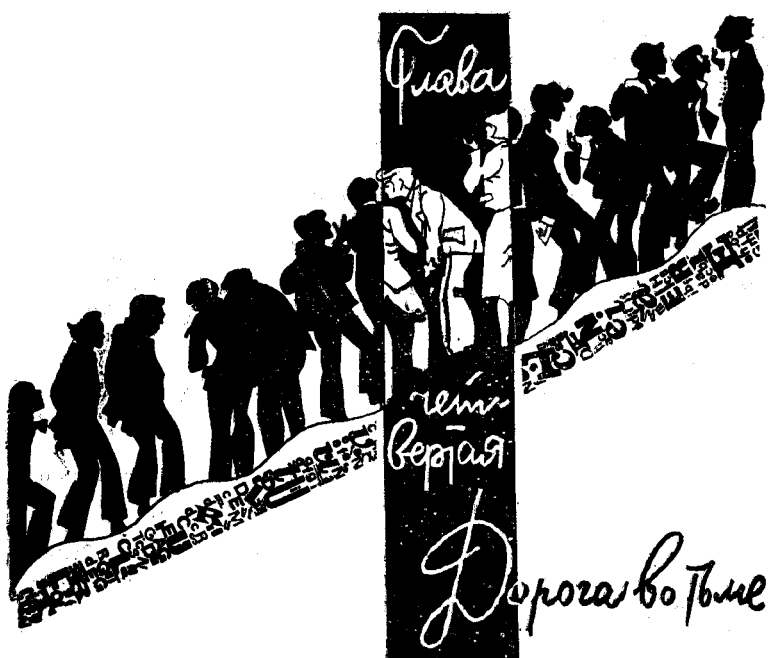
Квантовое понимание атома явно заслуживало доверия. И не только доверия... Не только? А на какое же еще одобрение вправе рассчитывать научная теория?

Резерфордовец Дьердь Хевеши, прочитав в английском журнале основополагающую работу Бора, тотчас написал ему: «Ваша статья была для меня неисчерпаемым источником наслаждения». И постарался объяснить, почему:

«Мыслящий ум не чувствует себя счастливым, пока ему не удастся связать воедино разрозненные факты, им наблюдаемые... Эта «интеллектуальная несчастливость» всего более и побуждает нас думать — делать науку».

Тут выразилась яркая психологическая черта, общая у ветеранов квантовой революции в физике. По их воспоминаниям, письмам, устным свидетельствам можно легко почувствовать, как постоянно двигало ими творческое стремление избавиться от «интеллектуальной несчастлиности», которую они переживали тем острее, чем что создавали: в их исканиях должны раскрыться фундаментальные связи между разрозненными фактами...

Хевеши признался, что в те часы, когда он штудировал квантовую теорию атома, его можно было счесть по-настоящему счастливым человеком.



1

Вполне логично говорить, что научное открытие уменьшает область неизвестного. Но не менее логично утверждать, что она при этом увеличивается. По вине самого открытия и увеличивается. Когда человек идет в гору, перед ним все раздвигается горизонт, но и все протяженной становятся земли, лежащие за горизонтом.

Об этом давно замеченном свойстве научного прогресса прекрасно сказал однажды Луи де Бройль:

«В большой аудитории Сорбонны на отличной фреске, созданной Пюви де Шаванном, изображены на обширной поляне фигуры, несколько стилизованные, согласно обычной манере этого художника; они символизируют человечество, наслаждающееся самыми возвышенными духовными радостями: литературой, наукой и искусством; но эту светлую поляну окружает темный лес, который символически указывает нам, что, несмотря на блестящие завоевания мысли, тайны вещей продолжают окружать нас со всех сторон.

Да, мы находимся в центре огромного темного леса. Понемногу мы освобождаем вокруг себя небольшой участок земли и создаем маленькую поляну. И теперь, благодаря успехам науки, мы непрерыв-

но и во все возрастающем темпе раздвигаем ее границы. Однако все время перед нами пребывает эта таинственная опушка леса — непроходимого и безграничного леса Неведомого».

Когда в феврале 1955 года де Бройль разворачивал эти мысли-ощущения в лекции «По тропам науки», ему было уже далеко за шестьдесят. Он знал радость глубоких догадок, драматические кризисы, годы бесплодия. В полулитературной, полунаучной аудитории Музея Гиме, возможно, лишь немногие знали о дебройлевской драме идей, которая как раз тогда разыгрывалась — что бывает редко — повторно. Но все со вниманием слушали ветерана квантовой революции, одни чувствуя, другие сознавая его право на возвышенный образ «таинственной опушки леса Неведомого»: была на этой опушке и расчищенная пядь земли.

То, что так велеречиво высказал ученый, суховато выразил писатель:

«Наука всегда оказывается неправой. Она никогда не решит вопроса, не поставив при этом десятка новых».

Узнается почерк Бернарда Шоу: раз уж общепризнанно, что на стороне науки всегда есть доказанная правда, ему нужно было убедить нас в обратном — она всегда не права.

Он подумал о науке в момент ее торжества — в момент открытия, когда она и вправду безоружна перед лицом новых «почему», обращенных ею же самой к чуть поредевшему лесу Неведомого. Нет у нее покуда ответов на эти новые «почему», которых никто и не задавал бы до состоявшегося открытия. И она в очередной раз «оказывается неправой» именно на гребне успеха. И чем масштабней открытие, тем более «неправой» оказывается она: тем больше вопросов приводит оно с собой.

Как с открытиями Планка, Эйнштейна, Резерфорда, это случилось и с квантовой теорией атома.

После хансеновского беспомощного «а я не знаю, так ли это» первые и самые глубокие недоумения высказал Резерфорд. То, что — первые, естественно: конечно, ему Бор послал на одобрение свою рукопись. Ему поспешил сообщить о спасении планетарной модели. Но то, что недоумения Резерфорда были еще и самыми глубокими, может показаться неожиданным: он ведь не числился «чистым теоретиком» и даже любил подтрунивать над такими теоретиками. Он говаривал, что они «ходят хвост трубой», и насмешливо уверял, что «мы, экспериментаторы, заставляем их поджимать хвосты».

Однако планетарная модель была его теоретическим детищем, и можно ли сомневаться, что он сам перепробовал немало путей ее спасения. Безуспешность попыток донельзя обострила его критическое чутье. Ответ на рукопись Бора последовал немедленно. И там были поразившие Бора строки:

«...Мне кажется, что есть серьезный камень преткновения в Вашей гипотезе, и я не сомневаюсь, что Вы полностью сознаете это, а именно: как решает электрон — с какой частотой он должен колебаться, когда происходит переход из одного стационарного состояния в другое? Мне кажется, Вы будете вынуждены допустить, что электрон заранее знает, где он собирается остановиться».

Так впервые — в частном письме — прозвучало подозрение: а не приписывает ли квантовая теория «свободу воли» этой неодоушевленной крошке — электрону?

...Останутся позади полтора десятилетия. Достигнет кульминации эпоха бури и натиска. Ожесточатся философские столкновения вокруг квантовых идей. То, что звучало осторожным вопросом в устах великого физика, вырастет до грозного обвинения в устах научных публицистов. «Свобода воли электрона» будет раздраженно обсуждаться теми, кого выведет из равновесия новое физическое миропонимание. А оно их выведет из равновесия своим покушением на классическую однозначную причинность, чье всевластье в делах природы наука прежде только подтверждала. И эта же мнимая «свобода воли электрона» совсем уж по ошибке обрадует мистиков, которым ни к чему никакая причинность — ни однозначная, ни вероятностная, а по душе лишь беспричинность и невероятность воображаемых явлений.

Но право же, Резерфорд и его письмо к Бору тут будут ни при чем. До 1939 года — четверть века с лишним — это письмо вообще не публиковалось...

Резерфорд задал вопрос физический и недоумение высказал тоже физическое. И был прав: у Бора получалось нечто в высшей степени странное. Пусть у электрона есть выбор возможностей, и он использует одну из них — перескакивает с далекой орбиты на какую-нибудь нижнюю. От глубины падения зависит энергичность испускаемого при этом кванта — его световая частота или цвет. Значит, в момент начала перескока все определяет его конец — размах скачка. По дороге частота излучения измениться уже не сможет — всякий квант одноцветен (монохроматичен, как говорят физики). Иными словами, электрону надо заблаговременно облюбо-

вать одну из нижних орбит — заранее рассчитать, «где он собирается остановиться». Выходило, что он делает словно бы свободный выбор — загодя решает свою квантовую судьбу!

Резерфорд был прав и в своей уверенности, что Бор «полностью сознает» эту трудность понимания его построения. Но что было делать Бору? Он очутился совершенно в том положении, в каком пребывал Резерфорд двумя годами раньше, когда предложил классически невозможную планетарную модель.

Новозеландец в 1911 году положился на будущее решение проблемы устойчивости его модели. Вот оно пришло. Но теперь в 1913 году датчанину, в свой черед, приходилось полагаться только на будущее оправдание выдвинутых им спасительных идей, ибо и они оказались в разладе с классическим здравым смыслом.

Правда, кое-что Бор попытался найти для самооправдания уже тогда...

2

Ему пришлось отправиться в Манчестер вслед за своею рукописью, чтобы отстоять ее от критики Резерфорда. И когда много лет спустя он рассказывал об отношении манчестерского Папы к его идеям, первое, что приходило ему на память, в точности повторяло слова из давнего резерфордовского письма. Так, Бор пересказал их и в своем ответе московским физикам, когда весной 1961 года в последний раз к нам приезжал:

— Резерфорд не сказал, что это глупо, но он никак не мог понять, каким образом электрон, начиная прыжок с одной орбиты на другую, узнаёт, какой квант нужно ему испускать...

Однако крайне интересно — и ради этого-то стоило здесь повторить недоумение Резерфорда, — что Бор добавил:

— Я ему говорил, что это — как «отношение ветвления» при радиоактивном распаде, но это его не убедило.

Молодому Бору думалось, что он выбрал психологически безошибочный научный довод, дабы обезоружить Резерфорда. «Отношение ветвления» — странный феномен в явлениях радиоактивности — был отлично знаком Папе. А заключался этот феномен в том, что иные из радиоактивных элементов распадались двояким способом. Из одной точки вырастали две ветви радиоактивных превращений. Так, в семействе урана две ветви шли от радия-С: малая доля атомов этого элемента переживала

альфа-распад, а большая доля переживала бета-распад. В среднем 3 атома из 10 000 превращались в теллур, а 9997 — в полоний. Другими словами, каждому атому радия-С природа предлагала на выбор две судьбы. И в совершенно одинаковых условиях его ядро как бы заранее решало, что ему испустить: альфа-частицу или бета-частицу? Наблюдались и другие случаи двоякого распада, с другим «отношением ветвления» между альфа-долей и бета-долей... Резерфорд, зная это, недоумения не выражал.

А было это и впрямь до чрезвычайности похоже на выбор, стоящий перед атомом при излучении света: какой квант испустить — красный или синий? Или, по-другому: какую орбиту покинуть электрону и на какой остановиться? Вдобавок спектральные линии своей разной яркостью отчетливо показывали, что одни кванты испускаются чаще, другие реже, совершенно так же, как в точках ветвления на древе радиоактивных превращений атомные ядра предпочитают один тип распада другому.

Для оправдания теории хорошая была параллель. Но провинность не умаляется тем, что прежде была совершена такая же. Параллели не объясняют, а только разъясняют. Они делают непонятное рельефней, однако ценой его удвоения: к исходной непонятности добавляют новую — того же свойства.

Но это-то для Бора и было важнее всего — того же свойства! В разных сферах жизни атома — в поведении ядра и в поведении электронов — проступает общая черта. Она противоречила классическому ожиданию одинакового поведения в одинаковых условиях. Но оттого что прецедент удваивался, в незаконном открывалось таинственно закономерное. Хоть и «таинственно», да все-таки закономерное...

Психологически, молодой Бор не ошибся: параллель с радиоактивностью, не отменив недоумения Резерфорда, помогла ему смириться со странностями квантового спасения планетарной модели, по крайней мере в одном пункте. Но был еще второй...

3

Теоретическое исследование датчанина началось в Манчестере почти год назад с одобрения Резерфорда. Потом свое вдохновляющее одобрение он высказывал в

письмах. А теперь, в марте 13-го года, прочитав законченную работу Бора, Папа должен был препроводить ее со своей рекомендацией в «Философский журнал». Между тем он увидел, что вызывает сомнения разумность самих основ этой работы. Нечто посерьезней «свободы воли» электрона обеспокоило Резерфорда. Бор прочитал в его письме:

«Ваши взгляды на механизм рождения водородного спектра очень остроумны и кажутся отлично разработанными. Однако сочетание идей Планка со старой механикой делает весьма затруднительным понимание того, что же лежит в основе такого механизма...»

Действительно, на орбитах электроны-планеты двигались вокруг солнца-ядра по законам классической механики, а между орбитами излучали свет по квантовому закону Планка. В одной картине сочеталось несочетаемое: классическая непрерывность и квантовая прерывистость.

Чуть позднее Резерфордов друг Вильям Брэгг пошутил, что теория Бора предложила физикам пользоваться по понедельникам, средам и пятницам классическими законами, а по вторникам, четвергам и субботам — квантовыми. Математически все выглядело исправно, а физически двусмысленно.

Как уязвима была та первая квантовая картина атома!

Почтеннейший геттингенский спектроскопист профессор Карл Рунге позволил себе высказаться так: «Теперь спектроскопическая литература будет навсегда загрязнена ужасными вещами». (В одном он был прав: навсегда!) А о самом Боре он отозвался еще благозвучней: «Этот субъект положительно сошел с ума!» Зять Карла Рунге, известный математик Рихард Курант, подружившийся в ту пору с копенгагенцем, не рисковал пересказывать ему все, что срывалось с языка возмущенного тестя. И полвека спустя историки физики слышали от Куранта-старика гораздо больше, чем слышал в свое время от молодого Куранта молодой Бор.

А когда осенью того же 13-го года на ученом заседании в Англии попросили выразить свое мнение о квантовой теории атома могучего классика лорда Рэлея, тот с улыбкой уклонился от предложенной чести:

— В молодости я строжайше исповедовал немало добропорядочных правил и среди них — убеждение, что человек, когда ему перевалит за шестьдесят, не должен высказываться по поводу новейших идей. Хотя мне следует признать, что ныне я не придержи-

ваюсь такой точки зрения слишком уж строго, однако все еще достаточно строго, чтобы не принимать участия в этой дискуссии!

Пожоряюще тонко было сказано, а все-таки Рэлей принял участие в той дискуссии, сам не заметив этого. В его речи прозвучали еще и такие слова:

— Мне трудно принять все это в качестве реальной картины того, что действительно имеет место в природе.

Выяснилось, между прочим, что для отрицания «новейших идей» вовсе не обязательно быть шестидесятилетним. Не обязательно быть даже старше того, кто их провозгласил. Отто Штерн был на три года моложе Бора, и ему исполнилось в 13-м году лишь двадцать пять, а он тогда поклялся, что «бросит физику, если эта нелепость окажется правдой». (Так он впоследствии говорил своему ученику Отто Фришу.)

В те же осенние дни 13-го года, когда сказал свое слово стареющий Рэлей, на другом ученом заседании — не в Англии, а в Швейцарии — всего только тридцатичетырехлетний Макс Лауэ, недавний ассистент Планка, откликнулся на теорию Бора короткой репликой: «Это вздор!.. Электрон на орбите должен излучать!» К счастью, случившийся на том же цюрихском заседании Эйнштейн не оставил реплику коллеги без столь же короткого возражения: «Нет, это замечательно! И что-то кроется за этим...» А Эйнштейну тоже было тридцать четыре. Так что снова видно: возрастные обобщения всегда ненадежны. Решает что-то другое...

Ничего более громкого, чем «это очень остроумно», Резерфорд в момент появления теории Бора не сказал. Но наверняка, подобно Эйнштейну, подумал: «Что-то кроется за этим!» Хотя примчавшийся в Манчестер двадцативосьмилетний датчанин не сумел в многочасовой дискуссии развеять ни одно из его сомнений, Папа благословил ту работу и препроводил ее в печать.

Это был акт широты и терпимости. Тем более удивительный акт, что Резерфорд никогда не давал ходу исследованиям, если они казались ему недостаточно достоверными. Да, конечно, он почуял за постулатами Бора некую высшую достоверность, которой еще предстояло раскрыться. По собственному опыту он знал, что без широты и терпимости науке не жить!

В час той же первой публичной дискуссии о квантовом истолковании атома, когда Рэлей произнес крылатую фразу о шестидесятилетних, слово попросил только-только ставший шестидесятилетним Лоренц. Он полюбывствовал: «Как объясняется атом Бора с точки зрения механики?» Многие сочли этот вопрос язвительным, но язвительность не вязалась с образом Лоренца.

Бор понял: с тем же нелукавающим прямодушием, что и Резерфорд, Лоренц спрашивал о наиглавнейшем — о логической связи между квантовыми постулатами и классической механикой. Нуждались в механической расшифровке две вещи: существование в атоме лишь прерывистой последовательности разрешенных орбит и скачки электронов с орбиты на орбиту. Что мог ответить Бор?

Квантовые постулаты не выводились из классики. Иначе они не были бы, во-первых, постулатами, во-вторых, квантовыми.

Хотя паутина дозволенных орбит и скачки е испусканием квантов равно чужды классической картине природы, для нашего воображения есть осязаемое различие между этими образами. Первый, в общем-то, легко представить, а второй совершенно непредставим. Неважно, что орбиты незримы: мысленно мы их легко прочерчиваем одну за другой в пространстве атома — так же, как пути планет в пространстве Солнечной системы. Это застывающий в неподвижности геометрический образ. А скачок — образ движения: он требует от нас рисовать себе процесс перемещения электрона между орбитами. Казалось бы, и это так просто! Но на нашу беду, скачки в теории атома — квантовые. И это превращает простое в невозможное. Наше воображение пасует.

У квантовых скачков есть начало и конец, а середина — самый процесс перескока — проваливается для обычного механического описания. Оно неосуществимо: делить квантовый скачок на более мелкие, а те на еще более мелкие, чтобы проследить течение этого события, запрещается сущью дела. Это ведь было бы попыткой дробления кванта на части — на все меньшие квантики излучения. Иными словами, это стало бы разрушением самой идеи неделимых квантов энергии. И атом, где овеществлялось бы такое дробление, излучал бы свет

непрерывно. Его спектр выглядел бы сплошным, а не линейчатым.

Впервые физика столкнулась с физическими событиями, у которых нет механической истории. И вместе с классической механикой наше воображение отказывается служить нашей мысли. Недаром же много лет спустя после рождения теории Бора Лев Ландау сказал, что квантовые идеи оказались еще более «дикими», чем идеи теории относительности.

Так что же мог ответить Нильс Бор в 1913 году на вопрос Лоренца? Логической связи с классикой не наблюдалось. С полной убежденностью Бор сказал только одно:

«...Так как без квантовой теории не обойтись, то какая-нибудь схема, включающая прерывности и скачки, все равно необходима!»

И на это уж нельзя было возразить.

А все-таки была точка пересечения, где сразу наметилась глубокая связь между классическими законами и квантовыми чертами в картине атома. Эта связь, названная Бором поначалу «соображениями сходства», стала потом содержанием его знаменитого принципа соответствия.

...У лестницы устойчивых уровней энергии в атоме было и сразу бросалось в глаза преинтереснейшее свойство: чем дальше от ядра, тем ниже делались ступеньки этой лестницы.

Человек, задравший голову у подножья ступенчатой мексиканской пирамиды, видит, как в вышине сходят на нет ее уступы. Но для него это — оптический обман по законам перспективы. На самом же деле все уступы одной высоты. А в атоме они действительно разные — убывание высоты ступенек по мере удаления к периферии атома не иллюзорное, но подлинное. Это показывают формулы и спектры.

Разница между соседними разрешенными уровнями энергии делается все менее заметной. Прерывистость в паутине орбит становится все менее ощутимой. Скачки с уровня на уровень — с орбиты на орбиту — оказываются все короче. В спектрах, отражающих эти скачки, частотол испускаемых линий все уплотняется. Линейчатый спектр начинает походить на сплошной, непрерывный, как если бы атом принимался излучать все световые частоты подряд.

Прерывность постепенно превращается в непрерывность.

Власть квантовых законов постепенно сменяется властью законов классических. Микромир переходит в макромир. Природа прекрасно демонстрирует свое физическое единство.

Как и следовало ожидать, природа нигде не водрузила пограничного столба с категорическим оповещением: «Досель — владения Галилея — Ньютона — Кеплера, а отсель — Планка — Эйнштейна — Бора». Непереходимого рубежа между атомным миром и миром зримым нет. Ожидать этого следовало ну хотя бы потому, что в противном случае мы с вами, размышляющие на досуге о законодательстве природы, не удостоились бы чести быть сложными конструкциями из атомов (и не сумели бы размышлять о них).

Ради одного философского удовлетворения Бору стоило из своей теории извлечь «соображения сходства», или принцип соответствия. Но извлек он этот принцип — из формул и опыта — по причине иных, менее возвышенных побуждений.

Надо было еще многое объяснить в поведении атомов как излучателей квантов, не говоря уже об их химических повадках и многом другом. А то, что в движении электронов на атомной периферии, чем дальше от ядра, тем ярственней проявлялись классические черты, обнадеживало. Напрашивалась мысль, что удастся раздобыть искомые квантовые формулы по сходству — по соответствию! — с уже известными классическими закономерностями.

Кажется, никогда еще не добывалось таким логически противозаконным путем теоретическое знание в физике, прославленной своей логической требовательностью. Почти неправдоподобно признание одного из гениев боровской школы — Вернера Гейзенберга:

«...Наши усилия были посвящены не столько выводу корректных математических соотношений, сколько угадыванию их по сходству с формулами классической теории».

И ведь угадывали!

Арнольд Зоммерфельд восхищенно говаривал о «волшебной палочке принципа соответствия»: так много хороших — согласных с природой — ответов давала квантовая модель атома даже в своей первоначальной форме, далекой от совершенства. Даже когда она еще не умела

разрешить сомнений Резерфорда, Брэгга, Рэлея, Лоренца и других. Стало быть, заключалось в ее основах (покуда не проявленных) что-то глубинно верное, не так ли? Знать бы, что именно?

Тот же Зоммерфельд писал в начале 20-х годов Эйнштейну:

«Все ладится, но глубокне основы остаются неясными».

Точно вторя ему, Макс Борн называл «совершенно таинственными» глубокие причины, лежащие в основе» теории Бора.

Не сомневаясь в ее справедливости, сам Эйнштейн восклицал в своем обычном мягко ироническом стиле:

«Если бы я только знал, какие винтики использует при этом господь-бог!»

А многие физики как раз на то и надеялись в конце 10-х и начале 20-х годов, что он-то, Эйнштейн, и сумеет вывести у природы, какие винтики пустила она в ход, конструируя атомный излучатель квантов, да и вообще конструируя микромир. Отражая эту надежду на проницательность создателя квантовой теории света, снова Зоммерфельд писал Эйнштейну так:

«Вы раздумываете над фундаментальными проблемами световых квантов. А я, не чувствуя в себе нужных для этого сил, удовлетворяюсь прояснением деталей квантовых чудес в спектрах... Но для понимания их физической сути я ничего не могу придумать».

И еще так:

«Я могу помочь развитию лишь техники квантов. Вы должны построить их философию».

Однако не Эйнштейну суждено было ее построить. Напротив, ему суждено было стать ее пожизненным противником — неутомимым, изобретательным, стойким, но напрасным оппонентом. И это тем драматичней, что он стоял у колыбели «философии квантов». Больше того: он доверил этой колыбели дитя, которому предстояло расти и крепнуть.

Дитя было кентавром: в нем соединились свойства частиц и волн.

5

Идея существования микрокентавров — идея волн-частиц — не имела ни малейшего отношения к спасению планетарной модели атома от неустойчивости. Да, скачки по энергетической лестнице сопровождаются испусканием или поглощением квантов света. Но для теории

атома было безразлично, что такое всякий квант в про-
странственном отношении — четко ли очерченная кор-
пускула излучения или цепочка электромагнитных волн?
И было это безразлично до такой степени, что сам Нильс
Бор позволял себе отрицать реальность световых частиц
Эйнштейна, а признавал только кванты Планка — пор-
ции, какими отмеривается в природе электромагнитная
энергия излучения. И это понятно: ведь поначалу Бору
лишь одно важно было — как отмеривается излучение.
Кванты отмеривались излучающим атомом как разности
между двумя уровнями энергии. Вот и все. А странности
поведения световых квантов, покинувших атом, Бора
тогда не волновали.

Происходило нечто нам уже знакомое и обычное для
истории истинной науки: ради достижения успеха позна-
ние снова ограничивало свою задачу. И снова воспомина-
ется платоновский Тимей:

«Если мы хотим заниматься астрономией, то нам незачем ин-
тересоваться небесными телами».

Но лишь до поры, до времени, не так ли? Разумеет-
ся. И в своей книге о Ньюtone Сергей Иванович Вави-
лов добавил это уточнение к мысли Платона, написав:

«Многие этапы истории науки сопровождались закрыванием глаз
до поры до времени на группы факторов и целые области явлений,
усложняющих задачу».

Странность, заложенная, очевидно, в природе кван-
тов, отражалась в обескураживающей двойственности их
поведения — то корпускулы, то волны...

Замечательно, что эта двойственность света была за-
мечена физиками давным-давно. Два с лишним века на-
зад — в 1756 году — Ломоносов уже подытоживал раз-
ные взгляды на движение «тончайшей и неосязаемой ма-
терии света»:

«Первое движение может быть текущее, или проходное, как Гас-
сенд и Невтон думают, которым эфир (материю света с древними
и многими новыми так называю) движется от солнца и от других
великих или малых светящих тел во все стороны наподобие реки
беспреданно. Второе движение может в эфире быть зыблющееся
по Картезию и Гугению мнению, которым он наподобие весьма
мелких и частых волн во все стороны от солнца действует...»

Тут Гассенд и Невтон — Гассенди и Ньютон — озна-
чены как сторонники корпускулярной теории света, по
которой свет — поток частиц. А Картезий и Гугений —
Декарт и Гюйгенс — представлены как сторонники вол-
новой теории, по которой свет — поток волн. И вот что
интересно: уже тогда Ломоносов должен был признать

реальность обоих типов поведения света: он сказал про световую материю, что эти «возможные движения» мы действительно «в одной находим». И будущему поручил разобраться в истинности возникших теорий. Частицы или волны? «Которые действительно есть, или нет, — после окажется!»

Очень долго — С. И. Вавилов полагал, что на протяжении 150 лет, — волновая теория не умела объяснить элементарнейший факт: прямолинейное распространение света. Пожалуй, именно поэтому весь XVIII век в физике господствовала, хоть и не безраздельно, корпускулярная теория. Уж этот-то факт она объясняла проще простого: а как же еще могли световые частицы лететь сквозь пустоту, если не прямолинейно?!

Но эта же прямолинейность частиц света мешала корпускулярной теории описать другое явление: способность света огибать препятствия — дифракцию. Из-за нее у теней не бывает абсолютно резких границ. Если свет — волны, тогда все понятно: волны и должны делать границы теней расплывчатыми, ибо могут заходить за край предмета. А прямолетящим частицам делать это не дано. Дифракция стала доводом против корпускулярной теории и помогла восторжествовать волновой.

А было еще явление интерференции. Сам Ньютон продемонстрировал его воочию: «Если наложить выпуклую пластинку на плоскую, то... в однородном свете образуются светлые и темные кольца». Он растолковывал, что эти кольца — результат наложения «пропущенного и отраженного света». Но трудно было объяснить, как могла возникнуть темнота там, где встречались — накладывались друг на друга — два световых луча, если это были потоки корпускул? Освещенность должна была бы только усилиться.

А для волновой теории это явление интерференции не представляло никаких затруднений. Волны могли взаимно усиливаться, встречаясь своими горбами, и могли взаимно погашаться, когда горб одной приходился на впадину другой. Чередование светлых и темных колец естественно истолковывалось, как волновая картина.

К слову сказать, для волновой картины было совершенно необязательно знать, что именно «волнуется», порождая свет, воображаемый ли эфир или более реальные силы электромагнитного поля. В нашей хорошей истории еще появятся и другие волны, тоже умеющие взаимно

интерферировать. И хочется привести еще один вариант все той же платоновской мысли, высказанный современным физиком — другом и соавтором Льва Ландау начала 30-х годов — Рудольфом Пайерлсом:

«...Чтобы понять, как происходит интерференция, не нужно интересоваться природой волны. Достаточно знать только, что существует некая величина, которая колеблется...»

Колебания разного знака — колебания в противоположные стороны — могут гасить друг друга, а колебания одного знака — усиливаться. Вот и весь механизм интерференции. Он стал сильнейшей опорой волновой теории света. Тем более что удалось волновым построением безупречно объяснить и прямолинейность распространения световых лучей.

Мудрено ли, что почти весь XIX век единовластно господствовала волновая теория. Корпускулярная отошла в историю.

Но наступил век XX. Он принес квапты Планка и световые частицы Эйнштейна... Что за притча — вновь возвращение на круги своя?

Точно предвидя, что это когда-нибудь случится, еще учитель Ньютона Исаак Барроу сказал:

«Оба представления о свете встречаются с равными трудностями. Поэтому я склоняюсь к мнению, что свет может порождаться обоими родами движения, как телесным истечением, так и непрерывными импульсами. Может быть, лучше приписывать некоторые действия одному, а иные другому.»

Кажется, учитель был дальновиднее своего великого ученика? Но нет, С. И. Вавилов нашел и у Ньютона такие строки:

«...Если мы предположим, что световые лучи состоят из маленьких частиц, выбрасываемых по всем направлениям светящимся телом, то эти частицы... должны возбуждать в эфире колебания столь же неизбежно, как камень, брошенный в воду...»

Видно, что Ломоносов напрасно повторил общепринятое тогда суждение о Невтоне, как ревнителе корпускулярной и противнике волновой теории света. Ньютон даже предложил конструктивный способ примирения несовместимых образов. частицы и волны! Может быть, этот способ был бы и хорош, если бы в нем материя частиц не отделялась от материи волн. А то получалось, что выбрасывается светящимся телом нечто одно, колеблется же в пространстве нечто другое. И все-таки неизъяснимо приятно думать, что тут состоялась перекличка великих через века: из всех гениев классики, вероятно, Ньютон с наименьшим протестом и с наибольшим сочувствием

встретил бы Эйнштейнову идею волн-частиц... (Пока, подобно Эйнштейну, не обнаружил бы вдруг, к каким непоправимым бедам для классической физики эта идея ведет.)

Точности ради надо сказать: когда в 1905 году Эйнштейн вновь открыл зачеркнутые XIX веком световые корпускулы, термин «волна-частица» у него еще не появился. Но появился этот странный образ: всякий квант содержал волновой признак — частоту колебаний и признак частицы — ограниченность в пространстве.

Этот двойственный образ воображение не осваивало. Логика — тоже. Проходило время, а положение не становилось легче:

«Итак, теперь мы имеем две теории света, обе необходимые и — как приходится признать сегодня — существующие без всякой логической взаимосвязи, несмотря на двадцать лет колоссальных усилий физиков-теоретиков».

Эйнштейн сказал это в 1924 году. И словно отвечая на немой вопрос читателя: «Так не следовало ли за два десятилетия придумать что-нибудь более удобоваримое?» — он добавил:

«Квантовая теория света сделала возможной теорию атома Бора и объяснила так много фактов, что она должна содержать значительную долю истины».

Уж кому-кому, а Бору эти слова должны были бы прийти по душе! А между тем в том же 24-м году он не без сердитой досадливости сказал молоденькому Вернеру Гейзенбергу:

— Даже если бы Эйнштейн послал мне телеграмму с сообщением, что отныне он владеет окончательным доказательством реальности световых частиц, даже тогда эта телеграмма, переданная по радио, сумела бы добраться до меня только с помощью электромагнитных волн, из каких состоит излучение!

Пolemически это было придумано блестяще. Но двойственность квантов излучения не делалась от этого выдумкой Эйнштейна. Будто тонкий психологический роман пишет свою историю познание природы. Бор не заметил, что его остроумный выпад только подчеркнул неизбежность такой немилый его сердцу двойственности излучения: он ведь допустил, что возможно окончательное доказательство реальности квантов как частиц без утраты их реальности как волн!

Он хорошо поступил, подчеркнув это неосознанно: тогда в его исканиях уже совсем близок был день совершенно осознанного признания правоты Эйнштейна. Не

подозревая об этом, он, как герой в романе, психологически заранее подготовил себя к такому поступку. А для физики это имело чрезвычайные последствия...

День признания наступил в июле следующего — 1925-го — года. Серия опытов немецких экспериментаторов заставила Бора оставить надежду на избавление от двойственности квантов. И это, наконец, убедило его, что не Эйнштейн, а природа навязывает нам образ волн-частиц. В тот же час просветленного понимания Бор пророчески написал:

«При таком положении вещей нужно быть готовым к... решительной ломке понятий, на которых до сих пор было основано описание природы».

И еще одно событие в физике оказало тогда существенное влияние на копенгагенца. Произошло оно в Париже.

6

Глубокой осенью 1924 года в старинной Сорбонне была защищена диссертация — «Исследования по теории квантов». Для досужей университетской молвы диссертант был интересней диссертации: все знали, что тридцатидвухлетний Луи де Бройль — младший брат известного физика герцога Мориса де Бройля и носит еще более громкий титул принца (по-русски — князя). Кроме того, было весьма необычно, что в ранней юности — до недавней мировой войны — он уже получил заслуженное право на ученые звания сначала бакалавра, потом лиценциата литературы и истории. А теперь вот приобрел еще более заслуженное право на звание доктора в сфере естественнонаучных дисциплин.

Трудно удержаться от праздного упоминания, что род де Бройлей принадлежал к пьемонтской ветви французских Бурбонов. Эдакая королевская генеалогия у естественников-профессионалов вещь редчайшая, если не единственная. В многовековой череде военачальников, придворных, дипломатов — вдруг братья-физики, и младший из них — теоретик, осененный революционнейшей идеей! Точно решил он, тихий принц, живший тогда уединенно, экспериментально показать, что и в королевских фамилиях могут появляться люди, достойные стоять в одном ряду с отпрысками простых поморов (Ломоносов), провинциальных водопроводчиков (Гаусс), колониальных фермеров (Резерфорд).

И без тени преувеличения можно утверждать, что у этого дальнего родственника бесчисленных Генрихов и Людовиков обозначились истинно королевские заслуги перед наукой об устройстве природы. Впервые за девять столетий Бурбоны родили короля!..

Кроме досужих голосов, вокруг диссертации Луи де Бройля еще до ее защиты повели полемику иные — серьезные — голоса. Их отзвук услышал осенью 1923 года на 4-м конгрессе Сольвея академик Иоффе. Он рассказывал; как необычайно дружелюбный Поль Ланжевен — давний сотоварищ Резерфорда по докторантуре у Дж. Дж. Томсона — сообщил ему среди прочих научных новостей о работе одного своего ученика в Париже:

«Идеи диссертанта, конечно, вздорны, но развиты с таким изяществом и блеском, что я принял диссертацию к защите».

Каково признание: явному вздору — зеленая улица! Да еще почему? Только потому, что он красиво выражен, этот научный вздор... Привлекательны великодушие и терпимость! Но Поль Ланжевен немножко лукавил: выдающийся исследователь, он в глубине души наверняка был уверен, что чепуху нельзя развить с изяществом и блеском. Красота теории была порукой, что в ее глубинах нечто истинное все-таки таится...

Вновь приходят на память слова Эйнштейна о теории Бора: «высшая музыкальность в области мысли». Наверное, он хотел сказать, что ложное построение не сумело бы стать гармоничным. А как раз внутренний механизм этого построения и попытался вскрыть Луи де Бройль.

Позднее, когда ему уже перевалило за шестьдесят и он начал выглядеть с точки зрения нового поколения молодых немножко старомодным революционером, где Бройль так объяснял, какой ход размышлений повел его в молодости к оправданию квантовой модели атома:

«Появление целых чисел в законах внутриатомного квантованного движения электронов, как мне казалось, указывает на существование для этих движений интерференции...»

Интерференция! — это было равносильно мысли о вмешательстве какого-то волнового процесса в движение электрона по квантованным — избранным и перенумерованным — орбитам. Иными словами, в квантовой прерывистости де Бройль усмотрел отражение какого-то непрерывного протекания физических событий. Что же тут могло быть подоплекой?

Каждый, кто сживал на морском берегу, не разavorоженно пересчитывал набегающие волны: одна, другая, третья... Но не каждый задумывался при этом над тем, что своим прерывистым счетом он описывает этапы непрерывного процесса.

А тиканье часов — пунктирные «тики-таки» — отсчитывает для нас непрерывные колебания маятника, отмеряющего время.

В колебаниях и волнах есть периодическая повторяемость одних и тех же состояний. И внешне это отражается в картине дробной смены таких состояний.

Де Бройль подумал, а не связан ли электрон с какой-то волной? Может быть, она ведет его или сопутствует ему? Или, хоть и непонятней, но проще: может быть, есть в нем самом нечто волнообразное? Если так, то в его поведении как частицы должно отражаться поведение связанной с ним волны.

Вот он летит по разрешенной орбите. Его движение по ней устойчиво — он ничего не теряет и ничего не приобретает. Устойчивость предполагает, что после каждого оборота вокруг ядра все в точности повторяется снова. Если бы мы засекли его в некоей точке орбиты, то через оборот он предстал бы перед нами в этой точке совершенно таким, каким был целый оборот назад. Но значит, и его таинственная волна должна в этой точке иметь тот же вид, какой имела она оборот назад: если был там гребень волны, то и будет гребень, а если была середина ската волны, то и будет середина ската.

Для того чтобы эта неизменность — эта устойчивость — соблюдалась, в орбите должно уменьшаться по ее длине целое число электронных волн. Обязательно — целое! Если это условие хоть чуть-чуть нарушится и возникнет маленький сдвиг — физики говорят «сдвиг по фазе», — то электрон очутится в нашей точке уже в ином состоянии, чем прежде. Устойчивость нарушится. Орбита окажется неразрешенной. Состояние атома — нестационарным.

Де Бройль уловил возможную причину странного разделения путей электрона в атоме на дозволенные природой и недозволенные. Дозволены лишь те орбиты, чья длина кратна длине волны электрона! Лишь по таким орбитам он может кружиться бессрочно, все возвращаясь и возвращаясь на круги своя.

Сразу объяснился образ паутины разрешенных орбит — прерывистость их череды: ближайšie друг к другу различаются по меньшей мере на целую длину электронной волны и между ними возникает кольцевой про-свет.

Чуть осветилась и загадка квантовых скачков. Между орбитами электрону и впрямь невозможно обрести устой-чивости — там нет планетных путей, кратных длине его волны. И он вынужден перескакивать через пропасть не-устойчивости одним махом — без истории — без деления на скачочки...

Когда Поль Ланжевен говорил Иоффе, что идеи дис-сертанта развиты с блеском, он прежде всего имел в ви-ду, как просто и красиво удалось де Бройлю получить ясную формулу для длины предполагаемой волны электрона. А удалось ему это с помощью теории относительности и квантовой теории.

Заранее можно было предречь, что тут не обойдется без постоянной Планка h — без кванта действия — без этого всеобщего масштаба малости в микромире. Де Бройль показал, что надо h разделить на массу и на ско-рость электрона, дабы узнать длину его волны. В самом деле, куда уж проще и красивей! Тотчас сосчитывалось, что у обычных «лабораторных» электронов — не слиш-ком быстрых и не слишком медленных — длина деброй-левской волны такая же, как у рентгеновских лучей: она измеряется ангстремами.

Отсюда прямо следовало... Да, конечно, отсюда пря-мо следовало, что рентгеноскописты могли бы попробо-вать экспериментально убедиться: реальны электронные волны или нет? Теоретически провозглашенную двой-ственность электрона как частицы-волны или волны-час-тицы обязательно надо было установить на прямом опы-те. Для защиты такой небывалой новости, уподоблявшей электроны квантам, то есть веществу — излучению, мало было выкладок на бумаге, сколь блестяще они ни выгля-дели бы.

Электрон-частица...

Электрон-волна...

Первое в доказательстве не нуждалось: более четвер-ти века назад электрон и был открыт как частица.

Второе потребовало через четверть века с лишним пе-реоткрыть электрон в новой (прежде никем еще не заме-ченной в эксперименте) волновой иностаси.

Переоткрытие электрона произошло тремя годами позднее — в 1927 году, вершинном году квантовой революции. Нам еще предстоит подниматься на эту вершину. Но придется, обгоняя события, заглянуть туда на минуту, просто чтобы не прерывать рассказа о «волнах материи» на полуслове.

Так окрестили дебройлевские волны сами физики. И этот термин — «волны материи» — будоражил воображение современников. В картине природы снова появилось нечто непредставимое — некое «дрожание» вещества.

Исторически кажется непонятым, почему оно не было сразу же продемонстрировано экспериментально де Бройлем-старшим в его хорошо оборудованной частной лаборатории на улице Байрона. Это тем непонятней, что работа с рентгеновскими лучами была, как говорят французы, «спесиалитэ де ля мезон» — «специальностью дома». А счастливая близость длин электронных волн и рентгеновских определилась тотчас, едва только де Бройль-младший вывел свою красиво простую формулу. Недоумение возрастет еще больше, если вслушаться в его воспоминание, которым он поделился с историками сорок лет спустя — в январе 1963 года:

— ...Мой брат Морис рассматривал рентгеновский луч, как некую комбинацию волны и частицы.

Стало быть, в лаборатории на улице Байрона все нужное для эпохального эксперимента было налицо — и приборы, и руководящая идея, и духовная атмосфера. А дело не сделалось!

Между прочим, именно там еще в довоенные времена, в 1911 году, Луи де Бройль — девятнадцатилетний бакалавр гуманитарных наук — пленился физическими исканиями старшего брата и познакомился со спорами вокруг квантовых идей. Морис де Бройль был секретарем 1-го конгресса Сольвея и привез тогда из Брюсселя материалы только что прошедших дискуссий. Юный Луи их читал и — соблазнился: теоретическая физика навсегда обратила его в свою веру. Но он занимался в лаборатории брата и экспериментами, да притом вместе с очень искусным Александром Довийе... Еще один повод для всевозрастающего недоумения.

Но, быть может, на улице Байрона попросту не догадывались, как поставить нужные опыты и чего добиваться? Ах, нет, догадывались! Во время защиты «вздорной диссертации» член жюри Жан Перрен спросил: возможно ли опытное доказательство идеи диссертанта? Луи де Бройль с прозрачной ясностью ответил: электронные волны, пронизывая кристалл, должны давать такую же дифракционную картину огибания атомных узлов кристаллической решетки, какую дают лучи Рентгена...

Так что же в конце-то концов помешало переоткрыть электрон как волну еще в 24-м году — на три года раньше, чем это действительно произошло?

Страсти человеческие помешали — не их вдохновляющий накал, а прохладное равнодушие к журавлю в небе, когда мерещится синица в руках... Уже переваливший за семьдесят, Луи де Бройль рассказал историкам, что он тогда — в далекой молодости — предложил многоопытному Александру Довийе взяться за дело, однако встретил отказ! Тот был слишком занят экспериментами по телевидению, которые сулили...

Словом, обычный сюжет: абстрактным «волнам материи» немножко надмирного принца пришлось уступить черед исканиям здраво-практическим. Но расчетливость всегда нерасчетлива, когда в жертву ей приносится фундаментальное знание. Довийе взял бы назад свой отказ, узнай он в тот момент, что все будущее электронной микроскопии, квантовой электроники, да и всех квантовых чудес в нынешней технике пряталось в азбучных опытах, которыми он пренебрег. И уж, конечно, он поспешил бы за них приняться, скажи ему голос из будущего, что впереди его ждет Нобелевская премия. Позднее она по праву досталась американцу Клинтону Джозефу Дэвиссону и англичанину Джорджу Пейджету Томсону «за их открытие дифракции электронов в кристаллах», то есть в точности за то, что предложил открыть уверенный в своей правоте Луи де Бройль.

Журавли и синицы, небо и руки меняются в истории местами, не оповещая об этом заранее слишком здравомыслящих.

Дэвиссон и Томсон открыли волнообразность электронов независимо друг от друга в 1927 году. А потом выяснилось, что первый наблюдал электронную дифракцию еще шестью годами ранее — в 21-м, но не смог по-

нять странную картину, получавшуюся при работе с электронами и никелевым кристаллом. Идея, что перед ним — волновая картина, Дэвиссона не осенила. Подтвердилась изумительно точная, уже знакомая нам мысль Эйнштейна, для многих звучащая почему-то как ересь: «Лишь теория решает, что мы ухитряемся наблюдать!»

Оттого что Дэвиссон в лаборатории телефонной компании Бэлла ухитрился наблюдать электрон-волну раньше, чем де Бройль ухитрился теоретически описать такую возможность, физике не повезло: уже воочию явившись как волна, электрон остался неузнанным на целых шесть лет!

А Джордж Томсон — сын старого Дж. Дж. — ставил в лаборатории Абердинского университета тонкие опыты, заранее зная, что он должен увидеть по теории де Бройля. И он сумел сфотографировать волновую картину поведения электрона... Так удивительно распорядилась история физики, что вся честь открытия электрона-частицы и наполовину честь открытия электрона-волны досталась одной ученой семье в двух ее поколениях.

Однажды — в середине 50-х годов — обсуждался даже интересный вопрос: а не было ли чистой случайностью, что корпускулярная природа электрона обнаружилась раньше волновой? И уж заодно: как повернулся бы весь ход развития физики микромира, если бы электрон как волна был открыт прежде, чем как частица? Тут простор для праздных гаданий. Но в такую дискуссию можно было бы внести шуточный вклад: для изменения очередности этих открытий в семье Томсонов отец и сын вынуждены были бы поменяться ролями, что противно законам природы.

8

Успех экспериментаторов в 1927 году заставил даже упорствующих скептиков оценить правоту де Бройля. И с необычной для Шведской академии быстротой ему уже в 1929 году была присуждена Нобелевская премия. (А Дэвиссону и Томсону пришлось почему-то ждать десять лет.)

На церемонии вручения награды французскому теоретику его представлял собравшимся шведский физик Карл Усен, к слову сказать, давний друг Нильса Бора

и еще более давний сторонник квантовых идей. Прежде чем попросить Луи Виктора де Бройля «принять награду из рук нашего короля», Усен сказал:

— Одна поэма, хорошо известная каждому шведу, начинается словами: «Моя жизнь — волна». Поэт мог бы выразить свою мысль и по-другому: «Я — волна!» Предпочти он именно это выражение, в его словах содержалось бы предчувствие глубочайшего понимания природы материи, ставшего доступным человеку ныне...

В зале могли подумать, что профессор Усен сказал больше, чем позволяла суть дела: разве из волнообразности электрона следовала волнообразность всего существа в вещественном мире?

Следовала! Суть дела в том и состояла, что по простой и красивой формуле де Бройля волнообразность являла собою неизбежное свойство всякой движущейся массы — совершенно независимо от того, чья это масса, электрона или целого атома, дробинки или земного шара... Так в легенде о рождении закона тяготения перед взором Ньютона могло падать на Землю вместо яблока все, что угодно: не имело значения, какую «вещью» была тяготеющая масса. И на самом деле Ньютон изучал не падение яблока, а подобное падению движение Луны... Карл Усен не преувеличил права мечтательного поэта — тот мог сказать о себе, не противореча физике: «Я — волна!» Тогда метафора принадлежала бы науке, а не поэзии.

Резонно возразить: да ведь это означает, что уже классическая механика с первых своих шагов и всегда имела дело не просто с физическими телами, но с кентаврами — «телами-волнами»? Разумеется, да!

Так, стало быть, была она непростительно слепа?

«Слепа» — это верно, а вот «непростительно» — совсем неверно. Она, старая механика, не замечала волнообразности вещества по той же причине, по какой веками не замечала возрастания массы тел с увеличением их скорости: по причине неуследимой малости этого эффекта. Формула де Бройля вместе с небывало новым знанием содержала безусловное оправдание всех экспериментаторов прежних времен.

Могли ли астрономы почуять дебройлевское «дрожание» земного шара? Для ответа — чуть-чуть арифметики...

Помните, длина дебройлевской волны получается при делении постоянной Планка h на массу и скорость тела. Чем больше масса, тем короче волна. Пусть ско-

расти Земли и электрона будут одинаковы. Тогда для земного шара длина волны будет во столько же раз короче электронной волны, во сколько Земля массивней электрона. А цифры такие:

Земля — примерно — $6 \cdot 10^{+27}$ граммов,

Электрон — примерно — 10^{-27} грамма.

Значит, Земля массивней в $6 \cdot 10^{54}$ раз.

Ну а электронные волны, измеряемые ангстремами, имеют длину, сравнимую с атомными размерами. Стало быть, надо размеры атома разделить на число с 54 нулями, дабы получилась длина дебройлевской «земной волны». Непредставимо физическое событие, в котором такая ничтожная малость могла бы подать о себе весть!

Столь же призрачной была волнообразность и того шведского поэта, что имел теоретическое право на метафору: «Я — волна!» Вообразим его могучим здоровяком весом около центнера — 10^5 граммов. Тогда был бы он массивней электрона в 10^{32} раз. А его дебройлевская волна такое же количество раз умещалась бы в поперечнике атома. Единица с тридцатью двумя нулями! Снова: вообразим ли эксперимент, в котором можно было бы засечь протяженность, равную эдакой доле атомных размеров?! И потому предложенная Карлом Усеном метафора все-таки принадлежала поэзии, а не физике.

...Все началось с планетарной модели — со сравнения атома с Солнечной системой. А теперь можно позволить себе обратное сравнение — попробовать в Солнечной системе узреть черты квантовой атомной модели.

Если так, то планеты вращаются по разрешенным орбитам. А разрешены лишь те, в которых укладывается обязательно целое число «планетных волн» де Бройля. Для нашей Земли это означает, что две ближайшие дозволенные природой орбиты разнятся между собой на одну «земную волну». Кольцевой просвет меж ними и того меньше. В этот просвет не втиснуться ни атому, ни электрону, ни мультимиллионно-миллиардно-триллионной дольке электрона. Такой просвет не более реален, чем полное отсутствие просвета. Словом, эллипсы разрешенных земных орбит просто вплотную прилегают друг к другу, практически заполняя все пространство. Никакой прерывистости в череде дозволенных планетных путей нет. И уровни энергии взаимного притяжения Солнца и планет никакой лестницы не образуют. И думать о квантовых скачках с уровня на уровень совершенно бес-

смысленно (даже если бы планеты умели скакать, испуская кванты).

Что же получается? «Квантование» Солнечной системы по образу и подобию атома ничего не дает — ничего нового по сравнению с тем, что уже вывела классическая механика. Оттого она и не подозревала о тех новостях, какие принесли с собою «волны материи».

А в микромире, где так неощутимы массы физических тел, очень и очень ошутима их волнообразность. Не случайно, что она раскрылась на электроны: он — легчайшая крупинка вещества в атомном обиходе.

Но и тяжелые частицы, создающие ядра, — протоны и нейтроны, — тоже отчетливо выраженные микрокентавры. Их волновое поведение столь же броско дает знать о себе, как и корпускулярное. Они ведь всего в 2000 раз массивней электрона. Конечно, от этого их дебройлевские волны во столько же раз короче электронных: тысячные доли ангстрема, то есть что-то вроде 10^{-11} см. Но хотя это и малая величина, она примерно в сто раз больше радиуса электрона-частицы — 10^{-13} см. И потому весьма солидна в масштабах микромира. Легко почувствовать важность «протонных волн» и «нейтронных волн» для верного описания событий в глубинах материи.

Разумеется, волнообразность ядерных частиц тоже была доказана прямыми экспериментами. И они, как электроны, прошли экзамен на дифракцию и интерференцию. Физик Демпстер, кажется, первым получил снимки кристаллов в протонных лучах. И подобно фотографии, рентгенографии, электронографии, возможна протоннография. А нейтронография ныне — целая наука.

Все карликовое население микромира принадлежит к неисчислимым племенам микрокентавров. Кто-то из английских или американских физиков придумал даже занятный термин для микротел — «уэйвиклс»: он соединил слова «уэйв» (волна) и «партиклс» (частицы). Очень выразительный термин. А по-русски его могли бы заменить даже два равнозначных словообразования в духе поэзии Велемира Хлебникова: «волницы» и «частолны».

Не надо объяснять, что все эти волницы или частолны, — заряженные и нейтральные, устойчивые и распадающиеся, прописанные в силовых полях и прописанные в веществе, открытые в атомных недрах и космических

лучах, найденные на кончике пера теоретиками и создаваемые на гигантских ускорителях экспериментаторами,— все они, получившие в разное время и в классификациях по разным признакам звучные клички нуклонов, мезонов, гиперонов, лептонов, барионов, адронов, резонансов, фермионов, бозонов, фотонов, гравитонов, кварков, глюонов,— все они, заслужившие звание просто элементарных частиц и античастиц, странных и очарованных,— все они потребовали и поныне требуют для описания их поведения и свойств таких идей и образов, в каких никогда не нуждались долгие века познания природы...

И раньше всего остального надо было физикам создать механику волн-частиц — механику, отображающую эту врожденную двойственность всех «первооснов материи».

Вот что летом 1925 года осознал Нильс Бор, когда напрогнозировал близящуюся «решительную ломку понятий, на которых до сих пор было основано описание природы».

Но по удивительному стечению обстоятельств он не знал, что тем летом такая предсказанная ломка шла уже полным ходом.



1

Теперь, когда приближается кульминация эпохи бури и натиска, слова «удивительно», «странно», «причудливо», кажется, и вовсе не перестанут сходиться у нас с языка. А ведь есть в них очевидная нескромность. Мы присваиваем себе право соотносить повадки природы с человеческим мерилom обычного и необычного, будто человек и вправду есть мера всех вещей.

Отчего мы доверяемся этой древней мудрости? Конечно, ее можно по-разному толковать. Но, право же, есть в ней привкус самозванства человека: он объявил себя высшим судьей в делах природы на том единственном основании, что действительно некому возразить. Повидимому, верно, что никто в природе, кроме человека, не способен создавать умопостигаемые и проверяемые модели самой природы. Но опыт человека ограничен. И разве не подчеркиваем мы эту ограниченность, когда

обыденно существующее в природе называем причудливым, а естественно происходящее — странным?

Вселенная начала открываться человеку «не с того конца». Точнее, вообще не с конца, а с середины: с вещей и событий земного масштаба. Лишь потом люди смогли заглянуть своими формулами и приборами в даль галактик — в сторону большого — и в глубины атома — в сторону малого.

А примись они за дело познания по правилам разумной очередности, — сначала простое, потом все более сложное, — наверняка ни на одном этапе не возникало бы никакой мучительной драмы идей. Все раскрывалось бы последовательно — по заведенному самой природой порядку. Все узнавалось бы, как при освоении чужого языка, начиная с алфавита: с законов поведения в пространстве-времени элементарнейших первооснов материи. Необъятный том непротиворечивого знания рос бы страница за страницей, без нарушения нумерации, без пропусков и без ссылок на другие источники понимания (вроде всеведущего Провидения). И всего заманчивей, что нашим представлениям о природе удавалось бы обогащаться, не требуя от нас жертв: не надо было бы отрекаться от прежних взглядов и спорить об их применимости. И никто не ведал бы огорчения оттого, что так трудно вникать в самое простое...

И уж если продлить это голубое видение, то оказалось бы, что, скажем, квантовая механика — это арифметика физики, а теория относительности — таблица умножения. То и другое учили бы в школе дети (иные, конечно, без любви, но все без особого труда).

Однако физики пришли в микромир не из его недр. Они ворвались в него извне. Удивительно ли, что примитивные тексты на дощечках с острова Пасхи оказались труднее для понимания, чем вторая часть «Фауста» или полотно абстракционистов?

У физиков одно оправдание (оно же утешение): это сама природа повинна в том, что разумным существам пришлось начать ее изучение с середины. Она сама предопределила макромасштаб для такого существа. Оно не могло бы образоваться на микроуровне бытия материи и явиться туземцем в микромире. Доводов множество. Один из них дает автоматика (или кибернетика).

Можно построить машину, выпускающую в качестве продукции собственные подобиya. Но доказано, что

такая самовоспроизводящаяся машина обязана обладать высоким уровнем сложности. Простое, конечно, легче воспроизвести, однако процесс воспроизведения своего подобия очень не прост. Простому он недоступен. Вирус, умеющий сотворить вирус, вынужденно являет собою мудреную конструкцию из множества атомов. И с физической точки зрения он — кажется, мельчайший представитель живого — есть уже макротельце. А ему еще нечем мыслить.

Столь виртуозное достижение инженерного гения живой природы, как человек, не могло бы состояться без выхода далеко за пределы микромира. Потому-то как раз благодаря своему совершенству мыслящее существо не может не удивляться элементарным частицам, потому-то они для него причудливые кентавры: «частолны» или «волницы». Это оно, биологическое совершенство человека, лишает его права полагать себя «мерой всех вещей». Не всех!

И это же биоинженерное совершенство заставляет любого из нас заново переживать ту «драму идей», которую первыми пережили в середине 20-х годов создатели механики микромира — механики волн-частиц...

2

Один из них пошутил так:

«Квантовая теория очень похожа на иные победы: месяца два вы смеетесь, а потом плачете долгие годы».

Другой однажды воскликнул:

«Если эти проклятые квантовые скачки действительно сохраняются в физике, я простить себе не смогу, что вообще связался когда-то с квантовой теорией!»

Третий признался в воспоминаниях:

«...Мы начали приходить в состояние полного изнурения, и наши нервы были напряжены до предела...»

Четвертый — впрочем, это был Эйнштейн, а о нем в таком контексте грешно говорить «четвертый», «третий» или «второй» — уже в старости написал Луи де Бройлю:

«Я, должно быть, похож на страуса, который все время прячет голову в песок относительности, чтобы не смотреть в лицо гадким квантам».

Шутка о кратком веселье и долгих слезах принадлежала ассистенту Нильса Бора, известному теоретику Гендрику Антони Крамерсу. А проклятья по адресу квантовых скачков — знаменитому Эрвину Шредингеру. А сло-

ва о полном изнурении — не менее знаменитому Вернеру Гейзенбергу, который уверял вдобавок, что полным бывало и «отчаяние из-за непонятности квантовой теории».

Таких свидетельств, психологически нас утешающих, сколько угодно. Без преувеличения: каждый из ветеранов квантовой революции, независимо от его вклада в общий успех, хотя бы однажды выразил те же чувства. Если не в научной статье, то в мемуарном эссе, если не в публичной речи, то в частном письме. И мы уже понимаем: иначе-то и быть не могло!

Пожалуй, лучше других в середине 20-х годов выразил общее умонастроение коллег Сергей Иванович Вавилов. Он начал теми же точно словами, какими впоследствии независимо от него говорил о своем умонастроении Эйнштейн:

«Современному физика порою кажется, что почва ускользает из под ног и потеряна всякая опора. Головокружительное ощущение, испытываемое при этом, вероятно, схоже с тем, которое пришлось пережить астроному-староверу времен Коперника, пытавшемуся постичь неподвижность движущегося небесного свода и солнца. Но, — довольно неожиданно продолжал свою мысль Вавилов, — это неприятное ощущение обманчиво, почва тверда под ногами физика, потому что эта почва...»

Любопытно, что поставил бы сегодня на место много-точия историк физики? У Вавилова стоит короткое — «факты». Почва тверда потому, что «эта почва — факты». Такое убеждение видится бесспорным.

Еще в 10-х годах нечто похожее сказал однажды Вильям Брэгг. Он уверен был, что рентгеновские лучи — поток частиц, а сам в это время проводил вместе с сыном замечательное исследование волнового поведения — дифракции — этих лучей на кристаллах. Какую же теорию ему следовало исповедовать — корпускулярную или волновую? Самочувствие у него было не из лучших. Теоретическая почва и от него ускользала. «Однако, — написал он тогда Резерфорду, — об этом можно поспорить отдельно: я же дам Вам сейчас факты». Та же интонация, что у Вавилова: прибежище от духовной смуты — надежные факты.

Но приходит невольно в голову, что ведь как раз по причине надежных фактов и возникают духовные смуты — те, что томят исследователей природы. Оттого и появляется ощущение ускользающей почвы, что обнаружи-

ваются неопровержимые факты, на прежний лад необъяснимые.

Так было и с опытом Майкельсона, и с тепловым излучением, и с рассеянием альфа-частиц на большие углы, и с линейчатыми спектрами атомов...

Эти экспериментальные факты, каждый на свой лад, покрывали глубокими трещинами фундамент прежнего здания физики. И для того, чтобы восстановить нарушенную экспериментами цельность физической картины природы, вернуть опоре прочность, понадобились дьявольски проницательные теоретические догадки.

Эйнштейну надо было открыть относительность пространства-времени. Планку — квант действия. Резерфорду — планетарность атома. Бору — квантовые постулаты. Де Бройлю — волнообразность вещества.

Что же обнаруживается? Вовсе не факты, а цемент надежных теорий скрепляет воедино расплывающийся под напором новых наблюдений фундамент физического осмысления действительности! И стало быть, скорее с теориями вяжутся слова о твердой почве под ногами физика? Пожалуй, так оно и есть. Да ведь это совершенно понятно: суть и значение фактов раскрываются не раньше, чем они объяснены. И только с этого момента можно на них опираться.

Еще и еще раз вспоминается эйнштейновская мысль, что лишь теория решает, каково содержание наших наблюдений. До этой мудрости каждый мог бы дойти и самостоятельно, задумавшись однажды над подлинным смыслом хотя бы такого достовернейшего наблюдения, что солнце «всходит и заходит». Делает ли оно это действительно — решают не наши глаза, а наше понимание мироустройства. Иначе говоря, теория! Она говорит, что восходы и закаты — знак вращения самой Земли вокруг своей оси, а Солнцу вовсе не приходится для этого эффекта с сумасшедшей скоростью обегать нашу планету.

Глядя из сегодняшней дали в 20-е годы нашего века, потому и хочется изменить окончание вавиловской фразы об ускользающей почве: «...почва тверда под ногами физика, потому что эта почва — надежные теории». Но это если глядеть назад из сегодняшней дали... А ощущалось ли и тогда право на такую замену?

Психологически правота все-таки была на стороне Вавилова: великолепные теории, едва-едва родившиеся, еще не воспринимались как безусловно надежные. И да-

же напротив того: своими отказами от вековых истин они-то, эти теории, создававшие твердую почву, вызывали головокружение. Они оставляли место для иллюзий, будто факты сами по себе только и способны крепить фундамент знания. Возможно, тогдашние самоощущения физиков походили на переживания не только астрономов-староверов времен Коперника, но и моряков всех времен после долгого плавания по штормовому океану: достигнут, наконец, берег, а земля еще ходит и ходит под ногами, точно норовит ускользнуть из-под ног.

...Не одна, а целые две механики микромира возникли одновременно в середине 20-х годов.

3

Дабы уж покончить с околичностями и соблазном на каждом шагу удивляться нашей хорошей истории, хочется уступить еще одному искушению.

Селия: О, удивительно, удивительно, удивительнейшим образом удивительно! Как это удивительно! Нет сил выразить, до чего удивительно!

В этой удивительной реплике из шекспировской комедии «Как вам это понравится» не заключалось никакой издевки. Просто Селии нужно было оттянуть момент разгадки происходившего и возбудить до предела догадливое любопытство Розалинды. Что и было достигнуто.

Розалинда: ...Каждая минута промедления для меня — целый Южный океан открытий. Умоляю тебя, скажи скорей мне, кто это! Да говори живее. Я бы хотела, чтобы ты была заикой; тогда это имя выскочило бы из твоих уст, как вино из фляги с узеньким горлышком: или все зараз, или ни капли. Умоляю тебя, раскупори свой рот, чтобы я могла упиться твоими новостями!

Кстати, те, кто склонны утверждать, что на свете никогда не бывало ничего нового, могут радостно усмотреть в словах Розалинды намек на квантовый принцип излучения: «или все зараз, или ни капли!» Излучающие атомы так и ведут себя, как заики, по Шекспиру, или как фляги с узеньким горлышком. А Шекспир, стало быть, нечаянно обронил идею квантов ровно на триста лет раньше Планка, ибо его комедия появилась на свет в 1600 году, а Планк сообщил о своем озарении, как мы помним, в 1900-м...

Да, кроме сути дела, было удивительнейшим образом удивительно, что сорокалетний Нильс Бор, признанный глава теоретиков-квантовиков, возвещая летом 1925 года

близость «решительной ломки» прежних понятий, не знал, что она уже шла полным ходом. И к тому же с двух противоположных направлений одновременно. И в двух разных уголках Центральной Европы. И вели ее независимо друг от друга два физика, еще не имевших случая даже просто познакомиться на каком-нибудь конгрессе или семинаре.

Тогдашняя неосведомленность Бора проистекала из врожденного свойства любых духовных революций: поначалу они бесшумны и не осознают себя как революции. Поначалу они сами нуждаются в тишине.

Сверх того, неосведомленность Бора объяснялась тем, что в тот момент его одобрения не искали и не жаждали оба «решительных ломателя». Тому была простая причина: он, Бор, предрек близкий переворот в привычных понятиях, едва только уверился в реальности микрокентавров, а те двое — Эрвин Шредингер и Вернер Гейзенберг — ни в какую корпускулярно-волновую двойственность электронов, протонов, квантов ни в малейшей степени не верили.

Логически получается, что признание такой двойственности вроде бы вообще было необязательно для успешного конструирования искомой механики микромира? Во всяком случае так казалось обоим. И это было еще одной удивительной чертой в происходящем. Обоим создателям микромеханики рисовались противоположные образы, когда они думали о микрообъектиках, чье поведение старались описать своими формулами.

Один полагал, что физически реальны лишь частицы, а их волнообразность — математическая иллюзия. (Полезная, но иллюзия.) Другой утверждал, что физическая реальность — это лишь волны, а их корпускулярность — математическая ширма. (Удобная, но ширма.) Потому-то они и повели «решительную ломку» с противоположных концов.

Могли ли сойтись их результаты? Ответ пришел в 1926 году.

А начали оба в 1925-м. Кто был первым?

Определить это с криминалистической точностью вряд ли возможно... Да и что принимать за старт научного поиска? Есть верные свидетельства, что Шредингер приступил к делу весной того памятного для физики года. Но не менее надежно известно, что и Гейзенберг начал весной. Правда, есть указание, что Шредингер уже в фев-

рале испытал побудительный толчок к началу своих исканий. Однако и в жизни Гейзенберга тоже был побудительный толчок, относящийся даже к более раннему времени — к 1924 году, когда в Копенгагене шли с немолчным участием Бора бессонные дискуссии о повадках микромира. Вместе с тем, если уж доискиваться первых прикосновений к эпохальной проблеме, то и про Шредингера следует сказать, что он тоже...

В общем, история — это разъемная матрешка. Но когда она завлекает в свою сердцевину, все неопределенней становятся очертания «начала». А потому не будем до них добираться. И начнем со Шредингера просто из почтительной вежливости: он был на четырнадцать лет старше Гейзенберга и уже профессорствовал, когда тот еще ходил в ассистентах.

4

Шредингер профессорствовал в Цюрихе, где в 1900 году окончил Политехникум юный Альберт Эйнштейн. Там уже гордились «мальчиком из Ульма» — своим бывшим выпускником, которого некогда сами же завалили на вступительных экзаменах. Там теперь, как и всюду, следили за каждой его публикацией. А из-под пера Эйнштейна вышла в начале 25-го года статья с высокой оценкой волновых идей де Бройля.

Незадолго до того Эйнштейн говорил Максу Борну о диссертации француза:

«Прочтите ее. Хотя она может показаться безумной, все в ней солидно обосновано».

А теперь он во всеуслышание объявил, что это работа, «заслуживающая всяческого внимания». И в Цюрихе его голос услышали сразу два видных теоретика: Петер Дебай из Политехникума и Эрвин Шредингер из университета. Оба прочли де Бройля и признались друг другу, что идеи его не поняли. Дебай предложил провести совместный семинар с докладом Шредингера.

Вот так, по-видимому, началась шредингеровская половина эпопей. Вскоре его осенило нечто большее, чем понимание идеи де Бройля: истинно творческое прозрение.

По одной версии это случилось с ним в горах. В том году, задолго до весны, врачи посоветовали ему покинуть город и на несколько месяцев переселиться в альпийскую

Арозу: он страдал болезнью легких. Фрау Шредингер рассказывала потом историкам: «Мы ее любили, эту маленькую спокойную Арозу, и там к нему пришли первые мысли о волновой механике...»

По другой версии не горный покой, а волны цюрихского озера настроили воображение Шредингера на нужный лад. Историкку Максу Джеммеру внушали в Цюрихе, что, подобно Архимеду, выскочившему из ванны с криком «Эврика!», Шредингер мог с таким же ликующим восклицанием выскочить из шtrandбадской купальни. Там его часто видели летом и осенью 25-го года, и молва уверяла, что там родились идеи волновой механики микромира.

Какая версия правдивей?

Первую Джеммер не упоминает, а вторая кажется ему сомнительной. Она и впрямь слишком уж нарочита, так что отдает сочинительством. Но в ней есть то же достоинство, что в легенде о ньютоновском яблоке: она содержит образ научной проблемы. Падение яблока наглядно выдавало действие непонятной силы. Колебания озерной глади намекали на волновое начало в поведении материи мира.

Бесспорно верно одно (и об этом говорил историкам Петер Дебай): стоило Шредингеру принять за реальность дебройлевские «волны материи», как у него естественнейшим образом возникла мысль: а не должна ли механика микромира быть подобием механики воли? В горной ли тишине Арозы или в шуме цюрихской купальни, но именно эта мысль повела Шредингера к успеху. А к слову сказать, возможно, обе версии верны — горная, как и озерная: дело в том, что трудный путь к успеху Эрвин Шредингер прошел в два приема.

Получилось так, что он дважды (!) дошел до цели. Однако в первый раз решил, что заблудился... Через много лет, в 1961 году, в некрологе, ему посвященном, рассказал об этом другой великий ветеран квантовой революции — Поль Дирак. Он ссылался на собственный рассказ Шредингера. Но приключившееся не оценить, если не вспомнить сначала о цепочке других событий 25-го года. Они происходили не в Цюрихе, и Шредингер о них ничего не знал.

Суть их можно кратчайше выразить так: в то время рождалось в физике микромира новое квантовое число.

Раз рождалось новое, значит, были уже старые. А на предшествующих страницах еще не прозвучало ни слова о них. Пора восполнить пробел. Он тем ощутимей, что на долгом пути узнавания квантовых черт микромира открытие каждого квантового числа бывало важной вехой.

Уже сравнительно недавно — на рубеже 60-х годов — словарь современной физики обогатился терминами «странность» и «очарование». Это — квантовые числа, каких не знавали в своей молодости ветераны эпохи бури и натиска. Для понимания структуры атома эти числа были не нужны. Они понадобились для описания свойств элементарных частиц, в ту пору вообще неизвестных. Появились в строгой науке демонстративно ненаучные слова. Вольные слова, чуждые традиции выращивать термины из греческих и латинских корней. В этих новых квантовых числах отразился вольнолюбивый дух физики нашего века, завещанный ветеранами. И отразилась очарованность физиков странностями глубин материи...

Легко догадаться, что даже самое старое из квантовых чисел было не старше атомной теории Бора. В ней оно возникло в 1913 году. И скоро стало называться главным квантовым числом, поскольку появилась нужда еще и в иных — неглавных.

Дело совершенно понятное: когда обнаружилось существование прерывистой последовательности устойчивых состояний атома, потребовалось ввести в физические формулы целое число для нумерации таких состояний — 1-е, 2-е, 3-е... *n*-е... Иначе: потребовалось перечислять ступени на энергетической лестнице в атоме. Или: электронные орбиты — череду возможных вращений электронов вокруг ядра. Все это ведь одно и то же. И естественно, что такое число, нумерующее квантовые состояния атома, еще прежде, чем главным, стали называть «квантовым числом Бора».

Все бы этим и ограничилось, когда бы скоро не открылось, что у атома гораздо больше разрешенных природой квантовых состояний, чем подметила теория Бора.

Не прошло и трех лет, как пришлось вводить в описание атома еще две последовательности целых чисел — для нумерации еще двух серий возможных уровней энергии. (Так, для домов вдоль улицы нужна одна последо-

вательность чисел, для этажей в каждом доме — другая, для квартир на этаже — третья.) Два добавочных квантовых числа уточнили «планетный адрес» вращающихся в атоме электронов — уточнили адреса их орбит.

Это сделал мюнхенский теоретик Арнольд Зоммерфельд. Некогда напрасно пообещавший виноторговцу в Мозельской долине найти объяснение формулы Бальмера, он восторженно встретил квантовое построение Бора. «Бесспорно настоящий подвиг» увидел он в атомной модели датчанина. И тотчас начал эту модель совершенствовать.

Физики уже знали: стоит поместить излучающие атомы в электрическое или магнитное поле, как с их спектрами начинает происходить диковинное превращение. Прежние линии расщепляются на две, на три, на четыре... В спектрах появляется «тонкая структура», как было названо это превращение.

По модели Бора, удивляться тут было нечему: конечно же, и электрическое, и магнитное поле, каждое по своему, не могли не влиять на движение электронов — заряженных частиц. Лестница уровней энергии в атоме должна была как-то меняться. Расщепление линий наглядно показывало, что главные — боровские — ступени этой лестницы сами становятся маленькими лесенками с двумя, тремя, а то и больше ступеньками. Возникают наборы новых квантовых скачков. Излучение обогащается новыми квантами. По-другому: паутина разрешенных орбит делается гуще. Природа словно бы становится милостивей и предоставляет электронам больше возможностей вращения вокруг ядра.

Арнольд Зоммерфельд первым расчислил эти новые возможности. Он рассудил так: раз электроны подобны планетам, они движутся не по окружностям, как у Бора, а по эллипсам. И так как они летят с огромными скоростями, без теории относительности их движение описывать грешно. Два неоспоримых уточнения: одно — классическое — по Кеплеру, другое — неклассическое — по Эйнштейну.

По Кеплеру: на эллиптически вытянутой орбите скорость электрона все время меняется не только по направлению, как это бывает в случае кругового движения, но и по величине. Вдали от ядра скорость одна, вблизи — другая. А по Эйнштейну: если величина скорости меняется, то меняется и масса электрона.

Получилось, что, описав оборот вокруг ядра, электрон чуть смещается в сторону. Он вяжет вокруг ядра петлю за петлей. Пока он летит по эллипсу своей орбиты, этот эллипс сам вращается — катится по плоскости орбиты. И потому истинный путь электрона — это красивая кривая, называемая розеткой: он очерчивает в полете по контуру многолепестковый цветок, вроде ромашки.

А можно так рассудить: электрон участвует в двух независимых вращениях. Первое — вращение по орбите — квантуется: не любые орбиты разрешены, а только прерывистая их череда. Второе — вращение самой орбиты — наверное, тоже квантуется: лепестки ромашки не могут быть какими угодно — разрешенные природой, наверное, тоже образуют прерывистую последовательность. И для их нумерации тоже надобна последовательность целых чисел: 1, 2, 3... к.

Но это не все. Атом — объемная вещь. Лишь электронные орбиты плоские, а сам он — трехмерная конструкция. И пока электрон летит по эллипсу, а эллипс катится по плоскости орбиты, эта орбитальная плоскость может поворачиваться в пространстве.

Третье независимое вращение, в котором невольно участвует электрон. Очевидно, и оно квантуется: не все положения орбитальной плоскости допустимы, а лишь пунктирный их ряд. Это напоминает чередование спиц в колесе. Их тоже надо пересчитывать. Необходима третья последовательность целых чисел: снова — 1, 2, 3... м.

Так возникли в квантовой теории атома, сверх главного квантового числа Бора, два дополнительных квантовых числа Зоммерфельда. Он назвал их «внутренними». И сразу удалось верно описать тонкую структуру атомных спектров!

...Был год 1916-й. Шла уже мировая война. Кровавая империалистическая бойня закрыла границы европейских государств. Но Резерфорд рычал в коридорах манчестерской лаборатории, что «этой чертовой войне не удастся оставить физику в дураках». И там, в Манчестере, Нильс Бор написал немцу Зоммерфельду запретное письмо, выражая восхищение его работами, которые тоже запретными путями дошли тогда из Баварии в Англию. А потом Зоммерфельд получил письмо и от Эйнштейна:

«...Ваши спектральные исследования принадлежат к разряду самого прекрасного, что я пережил в физике».

Однако таинственным оставалось, почему микромир устроен так, что периодические движения в атоме — вращения и колебания — обладают странным свойством квантуемости. Именно в том письме к Зоммерфельду сохранилось уже знакомое нам восклицание Эйнштейна в духе обычной для него пленительной полусушутливости: «Если бы я только знал, какие виттики использует при этом господь бог!»

Природа (эйнштейновский господь бог) молчала. Она всем и каждому открыто демонстрировала свои законы, но никому не помогала их понять.

6

Среди тонкостей тонкой структуры спектров была одна, которая все-таки не поддавалась расшифровке. Ее издавна окрестили аномальным эффектом Зеемана. Даже квантовых чисел Зоммерфельда было явно недостаточно, чтобы описать происходящее.

Случалось так, что в магнитном поле желтая линия натрия, например, расщеплялась на четыре, на шесть близких линий. В атоме бесспорно скрывались еще какие-то — пока неучтенные! — квантовые возможности: занумерованных тремя числами энергетических ступенек в атоме не хватало для верной картины.

Год за годом решение не давалось одареннейшим теоретикам. Один из них — всеми почитавшийся гением — впоследствии вспоминал, как в 1923 году он, работая у Бора в институте, сделался мучеником этой проблемы:

«...Коллега, встретивший меня, когда я бесцельно бродил по прекрасным улицам Копенгагена, дружески сказал: «Вы выглядите очень несчастным». На что я пылко ответил: «Как может выглядеть человек счастливым, если он думает об аномальном эффекте Зеемана?»

Пылкость ответа объяснялась молодостью несчастливца: он был ровесником века — ему исполнилось тогда всего двадцать три. Звали его Вольфганг Паули.

Он отличался редкостной самонадеянностью. К счастью, она была прямо пропорциональна его редкостным способностям. Когда ему было девятнадцать, он однажды после эйнштейновской лекции в Мюнхене объявил вслух: «Знаете ли, то, что нам сейчас сообщил господин Эйнштейн, вовсе не так уж глупо...» Но еще большей известностью, чем эта незабвенная фраза, пользовалась его

большая статья о теории относительности. Эйнштейн говорил, что начал тоньше понимать собственную теорию после работы юного Паули.

Так вот, той самой весной 25-го года, когда Эрвин Шредингер и Вернер Гейзенберг вынашивали свои варианты механики микромира, Вольфганг Паули решился на отчаянное признание в письме к одному, еще более юному, теоретику:

«...Физика слишком трудна для меня, и я жалею, что не сделался комиком в кино или кем-нибудь в этом роде, лишь бы никогда и ничего не слышать больше о физике».

Психологически это том неожиданней, что как раз той же весной он опубликовал историческую работу, содержащую ключ к решению истомившей его загадки Зеемана. Десятилетие спустя после Зоммерфельда Паули нашел, наконец, новое квантовое число.

Он открыл в микромире еще одну черту квантовой прерывистости. Он догадался, что она, эта черта, свойственна не атому в целом, а каждому электрону в атоме. И он назвал ее «двузначностью электрона». Абстрактно. Без всякой модели. Без каких-либо попыток изобразить такую двузначность.

Ему важно было лишь одно: квантовые возможности микромира по меньшей мере удваивались... Лестница разрешенных уровней энергии в атоме еще усложнилась... Аномальное расщепление спектральных линий поддавалось правильному описанию... А заодно и многое другое стало доступно теоретическому оправданию.

Так не открыл ли Паули новый тип вращения электрона? Это ведь казалось необходимым для квантования. Но мысль о зримом — классическом — образе для любого квантового явления была глубоко враждебна Паули. Когда Вильям Брэгг-старший пошутил, что модель Бора предложила физикам три дня в неделю следовать классическим законам, а три дня — квантовым, он хотел сказать, что логически это недопустимо. Никто не сознавал этого лучше, чем сам Бор и его ассистенты. В их числе — Паули. Но как перейти на полную квантовую неделю, никто не знал.

Не потому ли, несмотря на собственный громадный успех, достигнутый той весной, Паули все-таки написал юному коллеге, что завидует участи комика в кино? Пока он требовал изгнания из квантовой физики классических образов. Его острого критического языка побаивались

другие. Он бывал неумолим. Но, как это видно, и к себе тоже.

А юный коллега, которому он адресовался тогда,— это был двадцатилетний американец Ральф Крониг,— как раз только что принял грех на душу: узнав о «двузначности электрона», он сразу же предложил для этой двузначности полуклассическую модель.

Он нашел для электрона еще одну форму вращения: на сей раз не вокруг атомного ядра, а вокруг собственной оси. Так вращаются и планеты. А провозглашенная Паули двузначность имела у Кронига тот смысл, что и это вращение квантуется: если засечь какое-нибудь положение оси электрона, то вторым возможным положением будет только прямо противоположное. Остальные запрещены. Электрон похож на странный компас, чья магнитная стрелка умеет показывать лишь юг и север, или запад и восток, или северо-запад и юго-восток... Вот и двузначность! Прюделав нужные вычисления, Крониг тотчас получил верную формулу для раздвоения спектральных линий.

Однако Паули сказал, что все это — «остроумная выдумка», не более того. Модель Кронига он отверг. А потом и Бор отверг. И другие. Завязался драматический сюжет — один из самых известных в нашей хорошей истории.

Ральф Крониг, слишком юный и слишком неопытный, сдался. Он не осмелился послать свою работу в печать. Среди неодолимых возражений против его модели было очень понятное нам.

Если ось вращения электрона походила на магнитную стрелку компаса, то сам он походил на быстро крутящийся волчок. В этом еще не было беды. Но получалось, что он должен крутиться чудовищно быстро. Так быстро, что участочкам на периферии электрона — волчка с радиусом порядка 10^{-13} см — приходилось описывать круги со сверхсветовой скоростью. А этого не дозволяла теория относительности.

Тем не менее в том же 1925 году к модели вращающегося электрона пришли, кажется, вполне независимо от Кронига, два столь же молодых голландских теоретика — С. Гюудсмит и Г. Уленбек. Они работали в Лейдене.

Там уже больше десятилетия занимал кафедру постаревшего Лоренца замечательно человечный человек — видный теоретик Пауль Эрэнфест. Впрочем, у нас его,

выходца из Вены, называли чаще Павлом Сигизмундовичем: еще до первой мировой войны он пять лет жил и работал в России. Сердечные отношения связывали его с академиком Иоффе и многими нашими физиками. Был он близким другом Эйнштейна и Бора. В истории квантовой революции, пожалуй, никто, включая даже Вольфганга Паули и Льва Ландау, не заслужил такой доброй славы «творческого критика», как Эренфест. Суть в том, что критика его всегда бывала не только пронизательной, но и доброй.

Разумеется, взбудораженные своей идеей, молодые голландцы пошли к Эренфесту. Их не остановило то, в чем позднее признался Уленбек:

— ...Наш энтузиазм в значительной мере остыл, когда мы обнаружили, что скорость вращения на поверхности электрона должна во много раз превышать скорость света!

Эренфест сказал, что «это либо очень важно, либо чепуха». Он повелел юнцам написать короткое письмо в научный журнал. Они послушались — сочувствие всегда ободряет. Но потом, уже передав профессору письмо, они, как и Крониг, погрузились в обезволивающие сомнения. Через тридцать лет, в 1955 году, принимая кафедру Лоренца — Эренфеста, Уленбек вспоминал:

— Мы с Гоудсмитом почувствовали, что, быть может, лучше пока воздержаться от публикаций, но когда мы заговорили об этом с Эренфестом, он ответил: «Я уже давно отправил ваше письмо в печать. Вы оба достаточно молоды, чтобы позволить себе сделать глупость!»

В результате именно с их именами навсегда связалось введение в физику микромира нового понятия спин (буквально — «вращение»). Вместо бесплотной «двузначности электрона» оно стало названием четвертого квантового числа.

На долю Кронига достались только запоздалые сожаления, как печалился он много лет спустя. Ему не повезло, что первым судьей своей идеи он выбрал автора двузначности: Паули сам был в ту пору слишком молод, чтобы поступить, как Эренфест. Максимализм молодости, а не только характера, усугублял его решительное неприятие наглядных моделей для квантовых странностей в природе. Он самому Бору, которого глубочайше почитал, дважды наговорил в том году кучу невежливостей, а все потому, что Бор начал склоняться к признанию модели Кронига—Гоудсмита—Уленбека.

Вообще-то Паули не ошибался: явление было чисто квантовым и классическому описанию не поддавалось. Оттого и возникали в модели спина невозможные сверхсветовые скорости. Но, как и образ электронов-планет на классических орбитах, условный образ электрона-волчка хорошо служил теории. И через год сам Паули вынужден был согласиться с этим — вынужден!

Теоретик и историк, да к тому же строго мыслящий математик, Ван дер Варден написал впоследствии, что «нет оснований упрекать Паули» — упрекать за то, что он обрек Кронига на сожаления. Сухо логически — оснований нет. Но наука развивается вовсе не сухо логически. Эренфест поступил рискованней и человечней. И в конце-то концов оказался более правым перед лицом истории физики.

С другой стороны, Паули и сам в ту пору заслуживал сочувствия, разве не так?

За три года до тех событий, он — двадцатидвухлетний — был приглашен Нильсом Бором поработать в Копенгагене. Свидетели запомнили, как с великолепно небрежной самоуверенностью этот не по возрасту расплывшийся рыцарь чистоты теории ответил Бору:

— С физикой трудностей у меня не будет, а вот что меня действительно страшит, это — датский язык!

А теперь самоуничижительные слова: «...физика слишком трудна для меня!» И объяснение Кронигу, почему трудна: «Физика теперь снова загнана в тупик...»

Снова? А когда же это бывало прежде? Да ведь в точности те же слова, нам уже хорошо знакомые, произнес Лоренц на 1-м конгрессе Сольвея в 1911 году — накануне создания теории Бора. А до того те же чувства испытывал Эйнштейн — накануне создания теории относительности. А еще раньше Планк — накануне создания теории квантов. А до того...

«Я бы не удивился, если бы узнал, что аналогичные настроения преобладали в период, предшествовавший появлению механики Ньютона».

Рассказывая о своих зловключениях в истории вращающегося электрона, эти слова написал Ральф Крониг. А был тогда, весной 25-го года, канун появления механики микромира. Все повторялось с регулярностью психологического закона.

Долечиваясь весной в тихой горной Арозе, а летом и осенью сиживая в купальне на Цюрихском озере, Эрвин Шредингер избегал всяких отвлечений — даже научных — от поисков механики волн материи. Он ничего не знал о рождении нового квантового числа.

И был наказан за свою неосведомленность. Однако же весьма необычным образом...

..Когда Бор спасал планетарную модель, он шел по совету Резерфорда от простейшего атома — водородного. И Шредингер, отыскивая механику дебройлевских волн, поступил точно так же.

Хотя нет у атома стенок-границ и всякая волна в принципе безгранична, волнообразный электрон попадает на разрешенной орбите в ловушку: он, как это видел уже де Бройль, устойчиво движется по такой орбите оттого, что волна его умещается в ней целое число раз.

Целое число раз... Это давало надежду вывести квантование орбит — появление прерывистой их череды — из классически непрерывного движения электрона-волны. Шредингер начал строить нужное для дела волновое уравнение.

Волновое уравнение... Это означало, что его решения, если графически изобразить их, будут волнами в пространстве атома. Некая величина, символически описывающая состояния атома, будет волнообразно меняться от точки к точке, от момента к моменту.

Эта величина своей изменчивостью будет отражать изменения атомных состояний. И если уравнение удастся построить хорошо, его решения отобразят всю смену состояний устойчивых, когда атом не излучает энергии, и все переходы между такими состояниями, когда энергия излучается квантами. Иными словами, решения волнового уравнения будут в согласии с атомными спектрами. А по-другому: в согласии с наборами известных квантовых чисел.

Эту «некую величину», меняющуюся волнообразно, математически понятную, а физически покуда довольно таинственную, Шредингер захотел обозначить не слишком затасканной буквой греческого алфавита. Он выбрал «пси» (ψ). Верилось ли ему, что вскоре она станет самым частым и не переменным гостем на страницах всех статей и книг по физике микромира? Возможно.

Он был глубочайше убежден, что внутриатомная механика должна быть механикой волновой. Он в ту пору написал однажды:

«...Движущаяся частица есть не что иное, как пена на волновой радиации, образующей материю мира».

Уж не волны ли Цюрихского озера шепнули ему эту колдовскую фразу?! У нее было физическое оправдание — правда, недостаточное, но было. Когда под ветром то тут, то там вздыбливался на поверхности озера пенный гребешок, это показывало, что водяные волны разной длины и разной высоты удачно наложились одна на другую: вблизи гребешка они взаимно погасились, а в том месте, где он поднялся, взаимно усилились. Сформировался движущийся «волновой пакет». Этот термин физики давно уже придумали, изучая интерференцию волн.

Отчего же не допустить, что электроны, да и все микрокрупницы вещества, это пакеты интерферирующих волн материи? Тогда — никакой двойственности волн-частиц! На самом деле есть лишь волны-волны. И только непрерывность! Это была любимая мысль — надежда Эрвина Шредингера.

Меж тем волны Цюрихского озера с полной очевидностью демонстрировали ненадежность образа волновых пакетов: пенные гребешки скоро сникали. Сформировавшиеся их волны, двигаясь каждая на свой лад, неизбежно расползались. И даже математически волновые пакеты являли собою нестойкие образования. Из них нельзя было бы смастерить долговечное вещество мира. Разве что пену...

Так, и шредингеровские «пси», и дебройлевские волны материи, как бы ни накладывались они друг на друга, для создания частиц не годились. Однако Шредингер думал: «Со временем как-нибудь все устроится...» Один физик уверял историков, что Шредингер не только думал, но и говорил это вслух. Истинное понимание физического смысла «пси» пришло позднее. И помимо Шредингера. Оно пришло, когда его знаменитое уравнение уже хорошо несло службу в механике микромира.

А как могло оно хорошо нести свою службу, если так плох был замысел автора?

Да ведь плохим было одно: натурфилософское желание вернуть картине природы нерушимую непрерывность и ради этого постараться все сотворить из волн.

Преувеличивалась их возможная конструктивная роль. Но сами «волны материи» были правдивым физическим образом того, что действительно наблюдалось в природе. Изгонялась мысль об электронах-частицах, но они сами сохранялись под волновым псевдонимом «пены».

Шредингер предавал анафеме квантовые скачки по энергетической лестнице в атоме. (Мы уже слышали и еще услышим эти его проклятья.) Но он же нашел волновое оправдание для квантовых чисел, нумерующих скачкообразную череду ступеней и ступенек на этой лестнице.

Короче, все, что с натурфилософской пристрастностью отвергалось автором как негодное, с математическим бесстрашием прекрасно описывалось его уравнением. Оттого оно и сразу начало исправно служить физике.

Впрочем, не сразу... Точнее, не сразу оно приняло у Шредингера исправную форму. А случилось это как раз из-за того, что он не был осведомлен о спине. Ирония истории: именно тогда, когда высокообразованный исследователь рассчитывал стереть с картины микромира все пунктирные черты, неожиданно открылась в этой картине еще одна черта квантовой прерывистости — двузначность электрона. А он этого не знал. И потому не смог этого учесть.

Очевидно, когда он спускался из альпийской Арозы в летний Цюрих 25-го года, у него уже было с собой искомое уравнение в первом варианте. Или — метод его построения. Впоследствии Поль Дирак услышал от него, что он

«...немедленно приложил свой метод к движению электрона в водородном атоме, должным образом приняв во внимание формулы теории относительности для такого электрона... Результаты вычислений не сошлись с данными наблюдений... Он был глубоко разочарован, умозаключил, что метод его непригоден, и оставил этот метод».

Оставил! Судьба волновой механики в тот момент повисла на волоске. Потому на волоске, что метод-то был совершенно пригоден, и физика непростительно задержалась бы в пути, если б Шредингер оставил свой метод совсем. Причина неудачи крылась в другом, и он просто не мог еще ее распознать.

Он полагал, что «должным образом» принял во внимание теорию относительности. Между тем для того, чтобы сделать это и вправду должным образом, надо было, кроме эффекта огромной скорости электрона,

принять во внимание и его собственное вращение — его спин.

Отчего и как... — это из разряда подробностей, неподвластных нашему рассказу. А показал «отчего и как» именно тот, кому Шредингер позднее исповедался в своей временной неудаче: Поль Дирак. В 1928 году Дирак совершил теоретический подвиг, равный шредингеровскому, создав релятивистское уравнение для квантовой механики.

...Да, Шредингеру удалось совершить свой подвиг только в два приема. К счастью, первое разочарование не обезволило его. Слишком дорога была ему руководившая им идея.

Миновало лето 25-го года. А потом и осень. О новой квантовой черте в микромире он по-прежнему ничего еще не ведал. Но как-то невзначай, вернувшись к своим выкладкам, он вдруг заметил, где оступился... Он увидел, что рано было вводить в дело теорию относительности — чего-то для этого недоставало. И он попробовал усмирнить задачу: решить ее с меньшей точностью, чем ему хотелось сначала. Как только он это сделал, пришло согласие уравнения с опытом.

То был случай, когда прекрасное и впрямь оказалось врагом хорошего... Так, легко вообразить, что в 13-м году мог заблудиться Нильс Бор, попытайся он с первого шага следовать механике Эйнштейна. Он обнаружил бы, что в планетарном атоме вовсе нет круговых орбит, а электрон вычерчивает сложную розетку. Ясный образ лестницы уровней энергии, согласных с формулой Бальмера, мог бы неузнаваемо исказиться. И глубокое разочарование могло бы постигнуть его на самом пороге великого открытия... В преждевременном стремлении к полной правде строения атома он упустил бы неполную, но решающе главную конструктивную правду, не замутненную подробностями. Говорят, Резерфорд любил латинскую поговорку: «Спешите медленно!»

Итак, со второй попытки Шредингер получил к концу 25-го года замечательно работоспособное — хоть и не исчерпывающее истинное — волновое уравнение. Тогда он уселся за серию публикаций.

Первая из них поступила в редакцию «Анналов физики» 27 января 1926 года. Без малого год прошел с того незафиксированного в истории дня, когда два цюрихских профессора признались друг другу, что не поняли идеи

де Бройля и договорились обсудить на семинаре диссертацию француза. А теперь волновой механике, построенной одним из них, предстояло вскоре обрадовать сердца всех, кто чувствовал себя «как в тупике».

Фантастично, что той радости словно бы и не мешала тьма, покуда окружавшая открытые Шредингером психоволны.

8

А второй из ведущих создателей механики микромира, молоденький Вернер Гейзенберг в отличие от своих сотоварищей и учителей не только не почувствовал радости, но пережил смятение, когда весной 26-го года впервые узнал об успехе Шредингера.

Так и просится с языка догадка: соперничество — ревность! Но нет, в нашей хорошей истории все бывало, как правило, психологически тоньше и неожиданней.

Свой вариант квантовой механики Гейзенберг, начав почти одновременно со Шредингером, нашел раньше. И раньше опубликовал — еще в 1925 году. Его чувство первенства не могло быть уязвлено. И не могла ему явиться мысль, что цюрихский профессор сделал нечто лучшее — так разительно отличались их теории. Геттингенский доцент был в смятении по причине внезапного подозрения: «Мы оба безнадежно заблудились...»!

Оба! Вот, что его ужаснуло. Ибо тогда — все вздор.

Так выразил он свое тогдашнее чувство десятилетия спустя в беседе с Томасом Куном. Откуда же взялось это чувство?

Наде вернуться к весне минувшего 25-го года, но перенестись при этом из швейцарского Цюриха в немецкий Геттинген. Как болезнь легких погнала Шредингера в горы, так иное недомогание погнало Гейзенберга к морю. Точно ради симметрии, обстоятельства и для него создали уединение.

Пора весеннего цветения отозвалась на нем острым приступом сенной лихорадки. Распухшее лицо. Воспаленные глаза. Его геттингенский шеф Макс Борн без колебаний разрешил двадцатичетырехлетнему юнцу внеочередной отпуск. И посоветовал ему бежать на скалистый остров Гельголанд с целительным морским ветром, где голые камни не источали цветочной пыльцы.

Покатые валуны... ревущий прибой... пенные гребни... Право же, у Северного моря было еще больше шансов, чем у Цюрихского озера, настроить ищущую мысль на волновой лад. Но Гейзенберг искал в ином направлении. А потому иными глазами видел прибрежный пейзаж: обрывы скал... провалы в морской пучине...

Он думал об электроне-частице. И квантовые прерывности принимал за данность природы: ни в каком оправдании посредством непрерывных волн они для него не нуждались. Квантовые скачки не отпугивали его своей необъяснимостью. Так же не отпугивали, как и Вольфганга Паули, чьим приятелем был он со студенческих лет в Мюнхене.

Оба учились у Арнольда Зоммерфельда, любившего «квантовые волшебства в спектрах». И, может быть, он внушил им свою былую неприязнь к «частным моделям». А заодно внушил и свою пифагорейскую страсть к гармонии квантовых чисел, которую в Мюнхене иронически называли «атомистицизмом».

Но оба выдающихся погодка — Гейзенберг был на год младше Паули — в несравненно большей степени считали себя духовными учениками Нильса Бора. К 25-му году оба успели поработать у него ассистентами в Копенгагенском институте. Оба успели почувствовать и то, что Зоммерфельда заботила, как он сам говорил, «техника квантов», и то, что Бор погружен был в поиски «философии квантов». Громадная одаренность помогла обоим юношам выше оценить второе.

Гейзенберг приехал в Геттинген после зимы в Копенгагене. Он переполнен был волевою жаждой решительной ломки прежних понятий, как сформулировал это чуть позднее Бор. И, отправляясь в гельголандское уединение, уже знал, что хотел найти...

Простой была его исходная мысль: не должна ли механика микромира оперировать только наблюдаемыми величинами?

Почему только наблюдаемыми? А потому, что есть в этом странном микромире величины, принципиально не поддающиеся наблюдению. Пытаться включать такие величины в описание тамошних событий бесцельно: описание будет бесконтрольным. Хуже того, физически бессодержательным, ибо останется неизвестным, что же при этом описывается.

Квантовые скачки — главные события во внутри-атомной механике. Но они — явные нарушения в непрерывности движения электронов. И потому заранее обречены на неудачу попытки описывать на традиционный лад — как перемещения во времени и пространстве — эти электронные скачки. Впрочем, несколько не лучше обстоит дело и с орбитальным движением электронов.

Допустима поясняющая параллель.

Когда в классической астрономии речь идет о планетных орбитах, астрономы знают, о чем они говорят: движения освещенных Солнцем планет наблюдаемы. И величины в формулах доступны измерению. А когда физики-атомники говорят об электронных орбитах, их выручают лишь рассуждения по сходству: сами эти орбиты наблюдению неподвластны. Осветить и засечь электрон в полете нельзя: падающие на него кванты, соизмеримые с ним по массе, сразу сбывают его с пути, и дальше нечего будет измерять. Так и небесная механика потеряла бы достоверность и стала беспомощной, если бы потоки солнечного света были способны сталкивать планеты с предписанных этой механикой небесных дорог.

Гейзенберг полагал, что с ним заодно история физики XX века. Разве не отказался Эйнштейн признавать абсолютное время — единое для всех движущихся тел — именно потому, что никакой эксперимент, даже мысленный, не мог бы доказать его существования?! Нет Времени, а есть времена. Все они относительны, связаны с движением тел. Только ими и должна оперировать истинная механика.

Резерфордский образ электронов-планет, возможно и даже наверное, не более чем иллюзия. Что наблюдаемо? Лишь то, что атом изменяет свою энергию прерывисто. Эта прерывистость ручается за существование в атоме лестницы разрешенных природой уровней энергии. О недробимых скачках по этой лестнице свидетельствует испускание света целыми порциями: квантами. Вот необманное знание.

Что при этом доступно измерению? Частоты и амплитуды колебательных процессов, каким-то образом происходящих в атомах и порождающих кванты излучения. О частотах и амплитудах спектральные линии рассказывают своим цветом и своей яркостью. Частоты сообщают об энергии квантов: чем выше частота, тем

энергичней квант. Амплитуды сообщают о вероятностях испускания квантов: чем размашистей амплитуда, тем больше вероятность испускания. (Оттого и яркость линии сильнее.) Вот необманные величины.

Наборы таких наблюдаемых величин дают достоверную информацию о важнейших происшествиях в жизни атома — о квантовых переходах между устойчивыми его состояниями... Не с этого ли надо начать построение механики микромира?

Так решил Гейзенберг. Точнее, так можно оголить до предметно понятной схемы суть его замысла.

Еще до того, как полетела цветочная пыльца, он принялся по-своему строить теорию атома. Разумеется, как и Бор, как и Шредингер, простейшего атома: водородного. Но в Геттингене у него ничего не вышло. Сначала он заблудился.

По-видимому, это случилось с ним в точности тогда же, когда и Шредингер заблудился в весенней Арозс. (Историки могли бы уточнить это прелюбопытнейшее совпадение.) Но причины их осечек были даже внешне несхожи. Шредингер не знал о существовании нового физического факта. А Гейзенберг не ведал о существовании старого математического аппарата для исчисления таких величин, как пунктирные наборы наблюдаемых переменных.

Физика подобными вещами не занималась. Ее прежний опыт помочь молодому теоретику не мог. Оставалось взяться за поиски нужной формы для записи математическими символами этих наборов. И оставалось изобрести способ ими оперировать. Гейзенберг за это и взялся.

Макс Борн потом восхищенно говаривал примерно так:

— Каким талантливым невеждой надо было быть, чтобы не знать подходящего раздела математики и самому создать пригодный математический аппарат, раз уж он тебе понадобился!

Еще до бегства на Гельголанд Гейзенберг нащупал основу.

В принципе возможны квантовые переходы между любыми двумя уровнями энергии в атоме. Значит, следовало в единой записи охватить все мыслимые квантовые скачки по энергетической лестнице. Это походило на задание — дать формулу для записи всех результатов турнира, когда каждый играет с каждым. Тут участни-

ки турнира — стационарные состояния. Они занумерованы квантовыми числами. Результаты матчей между ними — испускание или поглощение квантов.

Годится квадратная турнирная таблица для отражения сразу всех возможностей. Одна таблица для частот. Другая таблица для амплитуд.

Уже на Гельголанде случился день — море, уединение, тишина, — когда впереди замаячило решение. Потом наступил вечер. Почти через сорок лет Гейзенберг рассказал историкам:

— Я пришел в невероятное возбуждение, потому что увидел, как отлично все получается... Я работал всю ночь, делая ошибку за ошибкой в арифметических подсчетах. («Беда мне с вами — не умеете вы считать!» — заметила бы и ему берлинская кондукторша.) Моя взбудораженность не имела предела, а уже занималось утро... Возбуждение погнало меня к одной из гельголандских скал... Я чувствовал: «Сейчас случилось что-то важное!»... Ну а потом я принялся писать статью.

Был час, когда все показалось ему ерундой. Он увидел, что в алгебре квадратных таблиц не всегда соблюдается извечный закон: A , умноженное на B , равняется B , умноженному на A . В делах природы эта **перестановочность умножения** всегда почиталась самоочевидной. А тут при перемножении разных наблюдаемых величин обнаружилось, что их нельзя безнаказанно поменять местами:

$$AB \neq BA.$$

«Это встревожило меня ужасно», — говорил Гейзенберг. В тот час, как той же весной в Арозе, будущее механики микромира повисло на волоске. Только Гейзенберг в отличие от Шредингера не забросил свой метод «на несколько месяцев», как сознался Шредингер Дираку. И потому на эти несколько месяцев гейзенберговский вариант квантовой механики опередил шредингеровский.

Ужаснувшись неравенству $AB \neq BA$, юнец успокоил себя с необъяснимой, но спасительной беззаботностью:

— ...Я сказал себе: «К счастью, мне не понадобится такое умножение, к счастью, это не очень существенно».

У него и тени догадки не было, что это-то и окажется сверхсущественным. Не посетила его мысль, что за этой-то вопиющей несообразностью, быть может, скрывается едва ли не самая нежданная из неклассических закономерностей природы!

Беззаботное самоуспокоение сыграло на редкость положительную роль. Вопреки тревогам здравого смысла,

он продолжил работу и после возвращения с Гельго-
ланда. Не раз в июньском Геттингене его вновь одоле-
вало смущение. И не раз появлялось желание «бросить
в огонь» трудно дозревающую статью. Но и с этим он
справился.

Не умел он справиться с другим — с боязнью пока-
зать написанное Максу Борну или послать Нильсу Бору.
Первый в духе геттингенской школы всегда требовал на-
дежной математической строгости. Второй в духе школы
копенгагенской — надежной физической обоснованности.
(Так говорил историкам сам Гейзенберг.) А тут еще не-
доставало ни того, ни другого. Но все-таки хотелось чу-
жого глаза и дружеской критики.

В начале июля он отправил свою работу Вольфгангу
Паули в Гамбург. В его взбудораженной душе звучало
нечто похожее на эренфестовский мотив: «Разве мы с то-
бою, старый приятель, еще не достаточно молоды, чтобы
позволить себе сделать глупость?»

Суд Паули на сей раз оказался милостивым. Это тем
более примечательно, что он, со своей стороны, вовсе не
целиком разделял взгляды старого приятеля.

«Есть в атомном мире гораздо больше наблюдаемых величин,
чем это снилось гейзенберговской философии».

Так впоследствии выразил точку зрения Паули ас-
систент Бора Леон Розенфельд. Что же обольстило не-
примиримейшего критика?

А то обольстило, что Гейзенберг отважился на пол-
ный разрыв с традициями классического описания дви-
жений в микромире! Паули увидел пролом в тупике. И у
него тотчас пропала зависть к участи комика в кино.
Осенью 25-го года он написал Кронигу иные слова, чем
весной: «Механика Гейзенберга вернула мне радость
жизни и надежду».

Ну а нам как понять, откуда черпала эта механика
истинность, если явно не было истинности в исходной по-
зиции геттингенского доцента? Он ведь не собирался счи-
таться с двойственностью микрокентавров. На иной лад,
чем цюрихский профессор, но тоже не собирался. То-
му претило думать о корпускулярности волн, а ему —
о волнообразности частиц.

На счастье, и тут отдавалась лишь дань односторон-
нему натурфилософскому пристрастью. А самой природе
и Гейзенберг не изменял. Изгоняя волны, он держал в
уме «кое-что колеблющееся» в атоме: без этого не имели

физического смысла частоты и амплитуды. А где колебания, там и волны. Это образы-близнецы. Оба знаменуют непрерывную периодичность. Стало быть, в дополнение к прерывистости квантовых скачков прокрадывалась в построение Гейзенберга и черта непрерывности.

Так и у этого варианта механики микромира были все шансы верно служить познанию природы.

После одобрения Паули Вернер Гейзенберг дал, наконец, свою работу шефу. Но на всякий случай сказал: «Ладно, делайте с нею все, что сочтете нужным».

Макс Борн в тот же день ее прочитал. Это было нелегко. Ему подумалось, что она «выглядит весьма мистически, но несомненно истинна и глубока». Так написал он Эйнштейну, а статью отправил со своим благословением в печать. Однако и ему не давала покоя нелепая формула $AB \neq BA$... Ему мерещилось что-то издавна знакомое, а что это было — не шло на ум.

Потом он многократно рассказывал, варьируя подробности:

— ...Однажды утром я прозрел: вспомнил алгебраическую теорию, которую изучал еще в студенческие годы. Такие квадратные таблицы были хорошо известны математикам. В сочетании с особым правилом умножения они носили название матриц. И я увидел, что гейзенберговское умножение было не чем иным, как элементом матричного исчисления. Теперь можно было продвигаться дальше. Я был взбудоражен, как моряк, увидевший после долгого плавания желанную землю...

(Еще одна взбудораженность после еще одного уныния. Еще одна радость после еще одного отчаяния. Эти постоянные наши слутники не оставят нас до конца повествования.)

А Гейзенберг в те июльские дни 25-го года был в Кембридже — в резерфордовской лаборатории, куда приехал с лекциями. И он не знал, что его механика тем временем получила крещение как «матричная механика». Этого слова еще не было в его собственном словаре, когда 28 июля он — кажется, впервые на людях — докладывал о своей теории в Клубе Капицы.

Усевшись, как повелось, на полу вокруг камина, это вольное содружество молодых физиков, созданное тридцатилетним Петром Капицей, с неутолимым интересом слушало первый набросок механики микромира. Интерес был неутолимым совершенно буквально: утолить вопросы и недоумения слушателей автор еще не мог. И преж-

де всего. недоумение по поводу физического смысла странной непрерывности умножения...

А тот, кто открыл квантовые скачки, Нильс Бор, узнал о совершившейся «решительной ломке» лишь в сентябре 25-го года. Он получил тогда письмо от Гейзенберга:

«...Я сочинил одну работу по квантовой механике, о которой очень хотел бы выслушать Ваше мнение».

Ему бы осмелиться раньше! Дело в том, что Нильс Бор оказался тогда едва ли не единственным теоретиком, не испытывавшим смущения при первом знакомстве с формулой умножения матриц... Возможно, он сразу прочитал этот ребус: $AB \neq BA$... Так или иначе, но он вскоре написал:

«Можно выразить надежду, что открылась новая эра взаимного стимулирования математики и механики. Наверное, физики сначала будут сожалеть, что в познании атома нам не миновать ограничения обычных способов описания природы. Но хочется думать, что это сожаление сменится чувством благодарности к математике, дающей нам и в этой области инструмент для продвижения вперед».

Да, совсем необычным был матричный способ описания с помощью своеобразных турнирных таблиц. А сулил он многое. И как раз в это же время Шредингер уже вел свой волновой способ описания прямой дорогой к полному успеху.

9

Однако откуда же взялось у Гейзенберга паническое чувство («мы оба безнадежно заблудились!»), когда весною следующего — 26-го — года он узнал из письма Паули о шредингеровской волновой механике? Почему оба?

Объясняя историкам свои тогдашние переживания, он, постаревший почти на сорок лет, улыбочиво и мудро сравнил себя и Шредингера с двумя альпинистами, искавшими в тумане путь к вершине горы.

...Когда туман стал редеть, оба увидели с двух разных направлений заветный пик в отдалении. Но как разительно несхожи были открывшиеся им ландшафты на подступах к цели! Отвесные кручи перед глазами у одного (квантовые скачки) и плавно холмистые склоны перед глазами у другого (волны материи). Могла ли возникнуть уверенность, что перед обоими — единая гора? Нет-нет, сильнее было подозрение: наверное, сбились с верной дороги и тот, и другой...

Потом смятение прошло.

Конечно, оно сменилось убеждением, что прав только он, Гейзенберг, а сбился с дороги Шредингер. И, разумеется, почти так же отнесся цюрихский профессор к механике геттингенского доцента. Оба не стеснялись в оценках.

Гейзенберг тогда написал другу:

«Чем больше я обдумываю физическую сторону шредингеровской теории, тем отвратительней представляется она мне».

Шредингер не оставался в долгу:

«...Наводящим уныние, если не отталкивающим, явился для меня этот трудный (гейзенберговский) метод... лишенный какой бы то ни было наглядности».

Но вместе с тем Шредингер сделал то, чего не сделал Гейзенберг: он сразу попытался установить, а не описывают ли они оба на разных языках одно и то же? И очень скоро строго математически показал, что так оно и есть!

Волновая и матричная механики вовсе не враждовали. Они переходили одна в другую, как бы дословно переводились. Ну как если бы первая твердила микромиру: «Я люблю тебя», а вторая: «Ай лав ю»... И тут, в заключение, нельзя не рассказать редкостного по психологической выразительности эпизода, разыгравшегося в те времена.

Летом 25-го года, когда волновой механики еще не существовало, а матричная только-только появилась на свет, два геттингенских теоретика пошли на поклон к великому Давиду Гильберту — признанному главе тамошних математиков. Бедствуя с матрицами, они захотели попросить помощи у мирового авторитета. Гильберт выслушал их и сказал в ответ нечто в высшей степени знаменательное: всякий раз, когда ему доводилось иметь дело с этими квадратными таблицами, они появлялись в расчетах, «как своего рода побочный продукт» при решении волновых уравнений.

— Так что, если вы поищите волновое уравнение, которое приводит к таким матрицам, вам, вероятно, удастся легче справиться с ними.

По рассказу американца Эдварда Кондона, то были Макс Борн и Вернер Гейзенберг. А заканчивается этот рассказ так:

«Оба теоретика решили, что услышали глупейший совет, ибо Гильберт просто не понял, о чем шла речь. Зато Гильберт потом с наслаждением смеялся, показывая им, что они могли бы открыть шредингеровскую волновую механику на шесть месяцев раньше ее автора, если бы повнимательней отнеслись к его, гильбертовым, словам».

Вот когда шекспировская Селия могла в очередной раз воскликнуть: «Удивительнейшим образом удивительно!»

Трудно было бы найти лучшую демонстрацию слепоты односторонности. И одновременно — правдивости классически невозможного образа волн-частиц. Гора перед глазами двух альпинистов была единой. Иначе лишь одна из двух механик оказалась бы истинной — либо матричная, либо волновая. А теперь они естественно объединились, или, лучше, воссоединились под общим именем: **квантовая механика микромира.**

Можно было бы ожидать, что противоборство тех исходных идей придет к завершению. Но нет, страсти вовсе не улеглись. Через четверть века с лишним, уже в 50-х годах, Луи де Бройль однажды сказал, вспоминая не знавшее штилей бурное течение нашей хорошей истории:

«Наиболее драматическим событием современной микрофизики было, как известно, открытие двойственности — волна-частица».

«Как известно!» Ветераны квантовой революции познали это на собственном опыте, тоже двойственном — в одно и то же время мучительном и счастливым.



1

Итак, искомая механика была построена в двух вариантах.

Оба исправно работали, в равной степени обеспечивали согласие с экспериментом. И согласие это бывало столь изумительным, что знаменитый Энрико Ферми, будущий создатель первого атомного реактора, соединявший в себе гении теоретика и экспериментатора, уверял студентов: «Нет необходимости согласовываться так хорошо!»

Ровесник Гейзенберга, итальянец Энрико Ферми сам внес неоценимый вклад в развитие квантовых идей. А вспомнил его восклицание в своей книге «Наука и удивительное» видный теоретик следующего поколения, выходец из Австрии, Виктор Вайскопф — ровесник Льва Ландау, под чьим началом он одно время работал в Советском Союзе. Можно довериться «длинному Вики», как называли Вайскопфа в Копенгагене, когда он в свой

черед воскликнул по поводу механики микромира: «Фантастическое открытие!»

В 1926 году оставалось —

— 12 лет до раскрытия первого источника ядерной энергии в реакции деления урана (Германия, 1938),

— 19 лет до испытания первой атомной бомбы на исходе второй мировой войны (США, 1945),

— 28 лет до создания в мирные годы первой атомной электростанции (СССР, 1954).

Из тишины лабораторий и негромкого шума академических дискуссий атомный век шагнул в историю человечества. И его приход, ужасающий и великолепный, озарился в сознании людей двойственным светом великих трагедий и великих надежд. Точно на роду была написана квантовой физике двойственность всех рангов — от микромасштабов глубин материи до макромасштабов истории землян. Никогда еще ни одно фантастическое открытие в чистой и бескорыстной теории не отзывалось так скоро и таким громким эхом, как возникновение дважды непонятной механики микромира в середине 20-х годов...

Да, была она на первых порах дважды непонятной. В обоих ее вариантах физиков встречала за порогом еще не рассеявшаяся тьма.

В волновой механике это была неразгаданность шредингеровских пси-волн. В матричной механике — неразгаданность матричного умножения. Только математически все обстояло благополучно, а физический смысл того и другого пребывал нерасшифрованным или спорным.

«Нужно указать, что развитие математического аппарата квантовой механики предшествовало физическому пониманию атомной физики».

На это счел нужным указать Вернер Гейзенберг, когда впервые читал лекции за океаном. Легко вообразить недоберчивое смущение американских студентов: сам ход преподавания во всех дисциплинах всегда внушал мысль о другой очередности — сперва суть, а потом форма. Но в этой новейшей дисциплине все поразительным образом было не как всегда — все навыворот!

2

Мечта Эрвина Шредингера — слепить из пси-волн частицы — развеялась быстро. Хотя формулы волновой механики работали безотказно, его собственное истолко-

вание этих формул, как выразился Макс Борн, «не могло выстоять». Все оттого, что не могли выстоять волновые пакеты — они расползались.

Однако нашелся один случай, когда и математически, и физически получалась дорогая сердцу Шредингера картина: в особо простых обстоятельствах волновой пакет мог двигаться по прямой линии, действительно устойчиво сохраняясь.

Но то был совсем не типичный — очень частный — случай. И между прочим, доказать его исключительность постарался Гейзенберг. Наверное, он испытал немалое удовлетворение, если не удовольствие, когда нанес этот удар по волновым иллюзиям. А Шредингер такие иллюзии на том и основывал, что вот ведь реален случай, когда волны создают подобие частицы. Он надеялся, что с развитием теории исключительное обернется всеобщим и мечта его сбудется.

...В отличие от электромагнитных волн математические пси-волны не могли бы произвести никакого физического действия: в них не содержалось энергии-массы. Они не были порождением силового поля. С их помощью нельзя было бы передавать информацию на расстояние. Никто не сумел бы изобрести излучающей пси-станции или принимающей пси-антенны. Ну разве что фантаст осмелился бы на такое изобретение, рискуя стать ненаучным.

Так и хочется спросить: если они бесплотны, то зачем заботиться об их физическом смысле?

Но разве не бесплотны классические орбиты планет или траектории капелек дождя? Там, где только что побывали планета или капелька, их плоти уже нет, да зато последовательность этих бесплотных «нет» прорисовывает в пространстве линию механического поведения планеты или дождинки. Закономерную линию! И потому физического смысла тут хоть отбавляй.

У волн-частиц классических линий поведения обнаружить нельзя. Этому мешает их двойственная природа. Допустим, можно сказать про электрон-частицу, что в данный момент он находится здесь и только «здесь». Но как сказать это же про электрон-волну? Волна не локализована в одном каком-нибудь месте: она и «здесь» и «там» одновременно.

Неспроста наше классически воспитанное и классически ограниченное воображение отказывается зримо

представить себе движение микрокентавров. Глубины материи — это мир утраченных траекторий!

Однако что-то должно было стать на их место, поскольку движение-то не исчезает?

Трудно было расставаться с наглядностью. Создателям новой картины природы это было столь же трудно, как и нам. И даже труднее, поскольку на нас — никакой ответственности, а на них она лежала тяжким грузом. Им это давалось ценою глубокой внутренней неурядицы: традиционному взгляду на вещи не хотелось отступать и приходилось уступать. Для иных из ветеранов квантовой революции такая неурядица оборачивалась пожизненной духовной смутой.

Ее поныне переживает де Бройль, по-прежнему стремящийся с надеждой на успех доказательно развить свое понимание пси-волн, которое полвека назад показалось ему таким спасительным...

Он вспоминал, как «пришел в восторг от прекрасных работ Шредингера». Тот по-дружески показал ему эти работы еще до опубликования, как родоначальнику идеи волн материи. Но растворять частицы в волнах де Бройль никогда не предполагал: ему дорога была волнообразность именно частиц. И поверить в образ волновых пакетов он не мог: «эта гипотеза не представлялась мне удовлетворительной».

Какую же роль в движении частиц отвела природа пси-волнам Шредингера? Размышляя об этом, Луи де Бройль придумал очень красивое построение — такое наглядное, что для него нашлось и очень поэтичное название: «теория волны-лоцмана» или «теория волны-пилота».

В обзоре своих работ к собственному шестидесятилетию он объяснил:

«...Я умышленно поместил частицу в лоно непрерывной волны и предположил, что распространение волны увлекает за собой частицу».

И еще прозрачней описал он это:

«Пси-волна в некотором роде «указывает дорогу» движущейся частице».

Какова же она, эта дорога? Последовательность точек пространства, где побывало и побывает «лоно волны», а с ним вместе и покоящаяся там частица? Так не получалось ли, что привлекательный образ волны-пилота действительно умышленно возвращал микрочастицам вполне определенные пути? Под волновой маской вновь

появлялись на атомной сцене невозможные для микрокентавров четкие траектории.

Разумеется, де Бройль, ожидавший этой критики, выразил свою идею осмотрительно: он сказал ведь, что пси-волна только «в некотором роде» указывает дорогу. Однако неизбежно получалось, что «в классическом роде». Так ему того и хотелось! Он сам говорил, что жаждал сохранить для частиц «строго детерминированное движение». В переводе с философского языка: строго определенное — классическое.

Он жаловался на непреодолимые математические трудности. Они обступили его, когда он попытался сделать свою теорию обоснованней — тоньше и правдивей. Но не потому ли те трудности и оказались непреодолимыми, что в самом замысле не было правды природы?

Еще летом 1926 года эту правду первым уловил, или уж во всяком случае первым доказательно выразил, Макс Борн.

3

Можно недоверчиво пожать плечами... Как же так? Ведь не кто иной, как Макс Борн, распознавший в гейзенберговских квадратных таблицах известные математикам матрицы, с минувшего лета 25-го года разрабатывал аппарат матричной механики — механики частиц и скачков. Ведь это он вместе со сверходаренным своим ассистентом только что — весной 26-го — стал мишенью веселых насмешек Гильберта за пренебрежение добрым советом поискать волновое уравнение для матриц. И вдруг, именно ему такая участь и честь: стать первооткрывателем физического смысла пси-волн!

Проще всего, конечно, отговориться обычной фразой: еще один каприз истории — и вся недолга... Но дело было глубже.

Максимализмом молодости уже немолодой геттингенский профессор — ему было тогда сорок три — не страдал. Односторонних пристрастий своего ассистента не разделял. И после появления механики Шредингера он, Макс Борн, начал с верой в успех исследовать столкновения микрочастиц, обратившись к помощи волнового уравнения.

Короче: он проявил широту понимания и отверг сектантскую узость. За это и был вознагражден глубоким

открытием. Но сначала ему пришлось выслушать обвинение «в измене духу матричной механики». В измене, не меньше! Ясно, что обвинителем стал Гейзенберг.

— Однако вскоре он опомнился,— добавил Борн, вспоминая этот эпизод,— и нашел удивительный способ примирить корпускулярную и волновую картины...

Об этом способе рассказ еще впереди. А чем же волновая механика соблазнила Макса Борна?

Раньше всего остального, привычной доступностью ее математического аппарата: уравнения... непрерывность... Все, как бывало прежде... Этим она подкупала всех. Даже многим классикам она приглянулась своей математической обыкновенностью. Иные из них восприняли ее как обещание близкого возврата к классическим представлениям. Но «измена» Борна так далеко, конечно, не заходила: он вовсе не собирался в угоду Шредингеру пожертвовать частицами и квантовыми скачками. Забавно, как он это объяснял впоследствии:

«Это было связано с тем, что мой институт и институт Джеймса Франка были расположены в одном здании Геттингенского университета. Каждый эксперимент Франка и его учеников по столкновению электронов казался мне новым доказательством корпускулярной природы электрона».

Впору подумать, что если бы экспериментаторы работали в другом здании, чуть подальше, электрон перестал бы казаться Макс Борну частицей... А все-таки это живое соседство с экспериментаторами, видимо, и впрямь явилось для него немаловажным психологическим подспорьем, когда воображение хотело сохранить образ корпускул нерушимым. Даже в краткой нобелевской речи — почти тридцать лет спустя — Макс Борн нашел место для лирического воспоминания о том, как щелкали счетчики Гейгера, регистрируя импульсы электронов, и как прочерчивались в камере Вильсона ниточки тумана, показывая воочию электронные треки.

Это микрокентавры неоспоримо демонстрировали теоретику свою корпускулярность. А волнообразность?

В той же речи Макс Борн рассказал и о волнообразности. Он вспомнил, как в 25-м году они с Джеймсом Франком подметили в картине прохождения электронов через кристаллы черты волнового поведения: огибание узлов кристаллической решетки — дифракцию! Они тотчас поручили тогда своему общему ученику молодому Эльзассеру повнимательней присмотреться к этому явлению...

Так, близкое соседство с экспериментаторами давало теоретику психологический стимул и для сохранения верности образу волн.

Эта сдвоенная верность не была у Макса Борна платонической: «...соударение одних частиц с другими я рассматривал как рассеяние волн...» Оттого и рассердился на него Гейзенберг летом 26-го года. Но победила непредвзятость. В ходе того исследования Борну и раскрылся смысл величины «пси».

Еще у него было преимущество благодарной памяти. Он не забывал одной старой конструктивной догадки Эйнштейна, и это ему помогло.

В том же 26-м году удостоились, наконец, крещения световые кванты — эйнштейновские частицы света: физико-химик Дж. Ньютон Льюис назвал их **фотонами**. И это имя сразу укоренилось. Окончание «-он» хорошо подчеркнуло их корпускулярность — по сходству с микрокрупницами вещества, электроном и протоном. Подчеркнуть надо было именно корпускулярность, ибо на протяжении тех двадцати лет, что они уже существовали в картине микромира, их волновая — электромагнитная — природа ни у кого сомнений не вызывала. И Эйнштейн должен был с самого начала, впервые заговорив о них в 1905 году, дать ответ на естественно возникавший вопрос: если свет состоит из частиц, то о чем ведут рассказ электромагнитные волны?

Не обойтись без повторения: длины этих волн, или частоты колебаний, рассказывали об энергии каждого кванта. А впадины и горбы, или амплитуды электромагнитных волн? О чем рассказывали они, если от них зависела яркость — интенсивность — света? Ответ был прост и логичен: там, где яркость больше, там больше квантов — там их плотность выше. Об этом и говорит высота — амплитуда — электромагнитных волн.

Совершенно тот же вопрос волновал теперь Макса Борна: о чем ведут рассказ пси-волны с их впадинами и горбами, раз уж с этими волнами связано поведение частиц? Пришедшая на память мысль Эйнштейна подсказала ответ. И Макс Борн потом не раз с благодарностью вспоминал об этом.

Кажется, дело вполне заурядное — каждый теоретик держит в памяти то, что было сделано на ту же тему до него. Да, но надо было понять, что мысль Эйнштейна

отражала ту же тему. А это не лежало на поверхности. Совсем напротив. Ведь ничего не получалось из стремления Шредингера увидеть в частицах некие кванты, сотканые из его пси-волн. Никаких «псионов» — в параллель с фотонами — не могло существовать. И потому в мысли Эйнштейна о роли горбов и впадин электромагнитной волны еще надо было усмотреть полезную подсказку для совсем другого по своей природе случая. А угадав эту подсказку, следовать ей без опрометчивости, дабы получить свой ответ на очень похожий вопрос.

Простейшим выглядел такой ответ: там, где поднимается гребень пси-волны, там и находится в данный момент частица. Но работала Эйнштейнова подсказка: а почему обязательно там и только там, разве в тех местах, где проходит не горб, а скат электромагнитной волны, совсем нет света? В таких местах его яркость меньше, однако же фотоны есть и там. Их меньше, но они есть. Отчего же не предположить, что и на скате пси-волны можно застать электрон? (Или, разумеется, любую другую микрочастицу, чье поведение изучается на сей раз.)

Появляется даже искушение подумать так: на гребнях пси-волны самой плоти электрона больше, а на скатах — меньше. Она, эта плоть, распределена — размазана — по всему пространству, где проходит пси-волна, описывающая поведение электрона: где горб — погуще, где скат — пожиже. Но тогда исчезает электрон как частица!

Недаром такому соблазну поддался все тот же Шредингер: идею волновых пакетов он заставлял служить подобной картине расплывшегося по всему атому электрона. «В этом я не мог ему следовать», — говорил Макс Борн.

Он следовал Эйнштейну, а Эйнштейн не размазывал световой квант по всей электромагнитной волне, ибо тогда незачем было бы и разговаривать о частицах света.

Нет, электрон как целое можно застать и там, где у пси-волны гребень, и там, где у нее скат. А «больше» и «меньше» относятся не к корпускулярной плоти электрона, а к его поведению: где у пси-волны амплитуда выше, там больше шансов быть электрону, а где амплитуда ниже, там и шансов меньше. Эти шансы равны нулю лишь там, где пси-волна сходит на нет: вот там электрону не бывать — там вероятность застать его нулевая.

Шредингеровские пси-волны — это волны вероятности!

Они, бесплотные, ведут рассказ о неклассическом движении микрокентавров. Они как бы становятся на место строго определенных классических траекторий. Вот это-то теоретически обосновал летом 1926 года Макс Борн.

4

Для нашей хорошей истории то было событием важности первостепенной. Но замечательно, что на многих физиков оно не произвело тогда почти никакого впечатления. Особенно на копенгагенцев из окружения Нильса Бора.

Там давно держались убеждения, что глубины материи — это мир вероятностных закономерностей. Сам глава копенгагенцев лелеял это убеждение со времен создания квантовой модели атома — с 1913 года.

У электрона в водородном атоме была возможность совершать любые из допустимых перескоков по ступеням энергетической лестницы. Спектральные линии своими сериями, вроде серии Бальмера, показывали, что совершаются все варианты разрешенных квантовых скачков. Излучают одновременно мириады атомов, но каждый испускает лишь какой-нибудь один из возможных квантов. И если одна линия в спектре ярче, а другая тусклее, то это означает, что больше атомов излучают первый квант и меньше второй. Иными словами, первый вариант квантового скачка вероятней второго. Яркость спектральных линий прямо свидетельствует о разной вероятности разных вариантов. А спектроскоп в лаборатории работает, как статистическое бюро: сортирует все варианты и молча, но зримо докладывает физику о статистической частоте разных случаев.

Словом, для Нильса Бора и его учеников не содержалось ничего неожиданного в идее Макса Борна. В другом ключе они думали о том же.

Таким — вполне очевидным! — показалось вероятностное истолкование пси-волн даже восемнадцатилетнему Льву Ландау. Тогда, в 26-м, вдали от Копенгагена и Геттингена, он самостоятельно делал свою первую научную работу по волновой механике. Потом, вспоминая минувшее и тот свой первый шаг в большую науку, он говорил (в том числе и автору этих строк), что Макс Борн, в сущности, не нашел ничего нового: «Так думали все».

В этом обобщении была, конечно, доля преувеличения.

Так не думали, скажем, ни Шредингер, ни де Бройль; равно как и многие другие из тех, кого волновала не только «техника квантов», но и «философия квантов». И однако же поверим свидетельству Ландау — с ним заодно немало ветеранов, утверждавших то же самое: понимание квантовых законов как вероятностных законов Случая носилось в воздухе.

Словно бы не желая переоценивать собственных заслуг, Макс Борн и тот уверял, что оно «казалось почти само собой разумеющимся». Но неспроста он вставил тут словечко «почти».

Еще не окончился 26-й год, а Макс Борн получил очень его огорчившее коротенькое письмо. Это Эйнштейн откликнулся на вероятностное толкование законов новой механики. И как удивителен был его отклик...

Он не прибегал к физическим аргументам, а ссылаясь только на свое философское чувство природы, веря в его безошибочность:

«Квантовая механика внушает большое уважение. Но внутренний голос говорит мне, что это все же не то».

Он употребил насмешливую немецкую идиому — «это не настоящий Иаков». И продолжал:

«Эта теория многое даст, но к тайне Старика она едва ли нас приближает. Во всяком случае, я убежден, что Он не бросает кости».

И это означало, что по его мнению природа на самом деле не отводит никакой роли случайному выбору возможностей.

Внутренний голос Эйнштейна. Без формул... без доводов... шутивно-иронический... И все-таки — это было слишком серьезно, чтобы не ощутить тревоги. И ведь как все сложилось: он, Макс Борн, преданно следовал за ним, за Эйнштейном, а когда успешно дошел до цели, вдруг увидел, что тот отвернулся.

Идея вероятностного мира начинала хождение по мукам...

5

А расшифровка второй загадки — странностей умножения матриц — не стала заслугой кого-нибудь одного. Но, по-видимому, больше других для этого сделал Нильс Бор.

Ни в беседах ветеранов с историками, ни в их мемуарах, ни в сочинениях самого Бора не встречается упоминаний об его первой реакции на неожиданно-негаданную формулу AB не равняется BA ... Меж тем никто, включая и его самого, любившего такие психологические подробности былого, не упустил бы случая упомянуть об этой реакции, если бы и он вслед за Гейзенбергом, Борном, Дираком тоже испытал бы растерянность или смущение, когда осенью 25-го года впервые эту формулу увидел. Зато хвалу математике, все по-новому и по-новому помогающей физикам идти вперед, он провозгласил тогда же.

По-видимому, он действительно сразу прочитал тот ребус.

...Ход его мыслей уже не узнать. И это еще один из бесчисленных поводов пожалеть, что в 1962 году историки слишком поздно пришли к нему для бесед об эпохе бури и натиска, в своем внезапно оборвавшемся рассказе он успел дойти только до 1922 года...

Для удобопонятности возможна такая схема.

Прочитав нелепую формулу, он сразу отверг очевидное: A и B не могли быть в гейзенберговском умножении числами. Числа неизменно давали бы одно и то же произведение, как ими ни верти: AB всегда равнялось бы BA . Совсем иное дело, если A и B не сами наблюдаемые величины, а операции над наблюдаемыми. Почему бы операциям разного толка давать один и тот же результат, если они проводятся в разной последовательности?

Юмористически, скажем, так: пусть операция A — наркоз, а операция B — удаление зуба; тогда прямая их очередность AB — утешительна, а обратная BA — ужасна; заранее, без проверки на опыте, ясно, что $AB \neq BA$, не правда ли?

Самые естественные операции над наблюдаемыми величинами в микромире — это их наблюдение. Иначе — измерения. Но ничто нельзя измерить в незримом и неслышном мире атома, не получив из него ответного сигнала на свой лабораторный вопрос. А сигнал требует затрат энергии и времени. Короче — действия. Наислабейший из возможных, наименьший сигнал — это планковский квант действия h . Как, однако, он ни мал, а в масштабах микромира его величина реально ощутима, о чем говорено тут было уже не раз.

Отослав даже такой ничтожный сигнал, электрон или атом меняют свое состояние. Измерение вторгается в их бытие. Всякий раз на свой лад. Так можно ли изумляться, что при двух операциях A и B далеко не безразличен их порядок, какая — сначала, какая — потом? Это столь несомненно, что обязательно должно было найти для себя выражение в истинной механике микромира. Вот и нашло:

$$AB \neq BA.$$

Бор издавна размышлял над проблемой измерений в микромире.

Чисто лабораторно-техническая в классической физике, эта проблема вдруг окрасилась философски-теоретически в физике квантовой. А все потому, что микромир, совсем как принцесса в сказке Андерсена, чувствует горошину сквозь толщу дюжин перин. Измерения не проходят безнаказанно для измеряемого.

Это вносит прежде неизвестные черты в само устройство нашего знания. Вот как оборачивается проникновение в глубины материи...

Бору радостно, а не тревожно было всматриваться в формулу неперестановочности умножения матриц. Снова совсем, как по Андерсену: из гадкого утенка она превращалась в глазах в стройного лебедя. Или прозаически: из нелепости — в ручательство за надежность найденного Гейзенбергом пути.

И Гейзенбергу потом не раз доводилось улыбаться со смесью гордости и смущения, когда он вспоминал, как утешил себя на Гельголанде: «К счастью, мне не понадобится такое умножение, к счастью, это не очень существенно...»

Конечно, и в матричном варианте механики микромира, как и в волновом, глубинные законы природы раскрывали свою вероятностную суть. Стоит чуть продолжить условное сравнение квадратных матриц с турнирными таблицами, чтобы это отчасти прояснилось.

Надо сыграть матч, дабы проставить в таблице определенный счет. Есть ли смысл в утверждении, что он существовал еще до игры? До игры существовала лишь перспектива любых исходов. Только одни были менее вероятными, а другие — более вероятными. Но ничего категорически однозначного не предрек бы никто, даже компьютеры, которым прогнозисты оставляют право на ошибку в сносных пределах.

Не так ли и в механике наблюдаемых величин? Надо сыграть матч — провести измерение, чтобы наблюдаемая величина стала наблюденной. На языке диалектической логики: чтобы возможное превратилось в действительное. А до этого решительно ничего однозначно точного вычисления не говорят.

Соблазнительно думать, что они, измеренные значения, допустим, координаты и скорости электрона, реально существовали и до измерения. Соблазнительно, но простодушно. Убежденность в этом не имеет физического смысла. Не найти ответа на скромный вопрос: а откуда вам это известно?

Естественно, в механике наблюдаемых величин, как и во всей микрофизике, нет места сомнению, что электрон существует до и независимо от нашего наблюдения (в противном случае не о чем было бы разговаривать и незачем было бы затевать измерения). Но без измерения квантовая механика откажется, например, точно судить о местоположении электрона.

Негодующе оспаривать этот отказ — дело безрадостное. И бесплодное. Да ведь и вправду: электрон — не классическая корпускула, а частица-волна, со всеми вытекающими из этого факта и уже понятными нам, «неприятными» последствиями. (И неважно, что автору механики наблюдаемых величин не нравился этот двойственный образ!)

6

Двадцать с лишним лет спустя, уже после второй мировой войны в 1949 году, группа наших физиков во главе с Валентином Александровичем Фабрикантом поставила красивый эксперимент.

Еще прежде в лабораториях не раз проводился простой опыт: непроницаемый экран с маленьким отверстием — за экраном фотопластинка, — сквозь дырочку в экране на нее устремляется прямо летящий пучок электронов — исследуется почернение пластинки. Что получится?

Классически, следовало ожидать, что появится черное пятнышко прямо напротив отверстия в экране, и только. Когда бы электроны были обычными шариками, ничего другого не могло бы произойти. С небольшим разбросом они падали бы на одно и то же место.

Физики-квантовики ожидали появления иной картины, гораздо более интересной. За отверстием должна была проявиться волнообразность поведения проскочивших на свободу электронов. На пластинке следовало запечатлеться картине пересечения электронной волны с плоскостью эмульсии. Там, где на это пересечение придется гребни волны, пластинка засветится, а там, где нулевые амплитуды, почернения не будет. В общем, от черного пятнышка посредине — напротив отверстия — должны расходиться чередующиеся светлые и темные кольца.

Так оно и получилось!

Но даже такие броские опыты не поколебали сомневающихся и не избавили идею вероятностного мира от хождения по мукам, начавшегося в 26-м году. И не один Эйнштейн обрекал ее на эти муки. А были они, в сущности, испытанием на прочность.

Среди многих сомнений очень долгоживущим явилось такое: а не есть ли вероятностная картина распределения зачерненных мест от падения электронов свойство их пучка — их громадного по численности потока, а вовсе не каждого электрона в отдельности?

Наши экспериментаторы решили в 49-м году провести опыт с отверстием в экране совсем по-другому, чем это делалось раньше.

Они пустили электроны не потоком, а поочередно. Не толпою, а гуськом. Пусть каждый электрон, решили они, проходит через отверстие и падает на экран независимо от других. Если и на сей раз прорисуетя на пластинке волновая картина, не останется экспериментальных сомнений, что свойства пучка тут ни при чем.

Все было сделано так, что электроны падали, как редкие капли из крана, прикрученного не до конца. Интервал между двумя падениями был в 30 тысяч раз продолжительней, чем время, какое требовалось электрону на пролет через всю опытную установку — от источника до пластинки. Ни один электрон «ничего не знал» о других — не был частицей толпы, и она не могла влиять на его поведение. И все-таки возникла на пластинке волнообразная череда темных и светлых колец.

Каждый электрон мог воспользоваться — и воспользовался! — какой-нибудь одной из вероятностей упасть не только прямо против отверстия. А все вместе использовали все вероятности, потому что их было для этого достаточно много.

Остроумный опыт. Поразительно, однако, что физикам захотелось его провести через столько лет после победы квантовой революции. Не значит ли это, что она продолжалась? Еще бы! Столкновения идей и страстей никогда не прекращались надолго. А может быть, им вообще не суждено затихнуть когда-нибудь окончательно: с классической макроприродой нашего воображения нам ничего не поделать.

Легко представить, какими же бывали эти столкновения в 20-х годах — в ту начальную пору!

Кончалось лето 26-го года. В Мюнхене происходил теоретический семинар у Зоммерфельда. Выступал приехавший из Цюриха Эрвин Шредингер. А среди слушателей был Вернер Гейзенберг. Он проводил в родительском доме остаток летних каникул. Случай, кажется, впервые, свел лицом к лицу создателей обоих вариантов квантовой механики.

Не было особой неожиданности в том, что на семинар пришел даже директор института экспериментальной физики стареющий Вилли Вин. Хотя он был откровенным противником квантовых новшеств, его неприязнь не распространялась на волновую теорию гостя из Швейцарии.

Вилли Вину принадлежала одна известная и в свое время очень важная формула в доквантовой теории излучения. И теперь ему казалось, что Шредингер возвращает физике, наконец, доквантовую непрерывность под старым девизом: «природа не делает скачков!» А идеи механики частиц и скачков, придуманной бывшим мюнхенским студентом Гейзенбергом, были ему до крайности неприятны и неуютны.

В 1963 году вдова Шредингера фрау Аннамари вспоминала в беседе с историками, что вообще «старые люди» одобрительно встретили волновые идеи ее мужа, а «молодые люди» — нет...

В Мюнхене молодой Гейзенберг позволил себе запальчиво высказаться об излишнем доверии Шредингера к волновым пакетам и начал было критиковать его за генерализацию волн. А Вилли Вин еще помнил, как три года назад этот выпускник университета не смог ответить ему на экзамене, что такое разрешающая сила микроскопа (!). Лишь благодаря заступничеству Арнольда Зоммерфельда незрелый юнец все же получил тогда степень доктора философии. Теперь же этот невежественный школяр критиковал как равный цюрихского профессора,

Негодующий Вин вскопчил, забыв о своем возрасте, и прокричал, вспомнив о своем чине:

— Молодой человек, вам еще надлежит учиться физике, и было бы лучше, если бы вы изволили сесть на место!

Сверх того он добавил, что ему, конечно, понятны чувства недоучки, ибо волновая механика поставила крест над таким вздором, как квантовые скачки, но настаивать на возникающих трудностях с волновыми пакетами бестактно:

— У нас нет сомнений, что господин Шредингер преодолет их в близком будущем!

Этот эпизод стал исходным пунктом памятного события в нашей хорошей истории — встречи Шредингера с Бором в сентябре того же 26-го года.

В мемуарной книге «Часть и целое» Гейзенберг рассказал, как он вернулся с семинара домой в удрученном настроении и вечером написал Бору о несчастливом течении дискуссии у Зоммерфельда.

«...По-видимому, именно в результате моего письма Бор сразу пригласил Шредингера провести несколько сентябрьских дней в Копенгагене. Тот согласился, и я поспешил вернуться в Данию».

Шредингер спустился на копенгагенскую платформу, как обычно, с рюкзаком за плечами. Так он приезжал и на солвеевские конгрессы. А в Берлине он удивлял своих достойных коллег-профессоров, приходя летом на лекции в теннисных туфлях и в рубашке с расстегнутым воротом. Словом, ему был не чужд вольный дух Копенгагена. Прямо на вокзале он был сразу втянут в спор встречавшими его Бором и Гейзенбергом.

Рюкзак и платформа... Сегодня это воспринимается как символическое: «Физика в пути!» Так, годом раньше на других перронах, в Гамбурге и Берлине, спорили о вращающемся электроны Паули и Бор, а на перроне в Тьюбингене — Крониг и Паули, а в поезде Геттинген — Ганновер спорили о матрицах Паули и Борн. Теоретики жили тогда в атмосфере безотлагательности дискуссий.

С копенгагенского вокзала Бор повез гостя к себе домой. И хотя Шредингер уже недомогал, а потом на несколько дней совсем слег, полемика, раз начавшись, длилась часами и у постели больного. Есть даже версия, что накал той полемики и довел страдавшего бессонницами гостя до постели. Оба нападали и защищались, а Гейзенберг по преимуществу молчал. Очевидно, затем молчал, чтобы в те минуты не вызвать огонь еще и на себя — на собственную односторонность.

Шредингер, как легко понять, атаковал образ волн-частиц и представление о квантовых скачках. Его доводы звучали логически вполне последовательно: образ волн-частиц внутренне противоречив и потому несостоятелен, а квантовые скачки — абсурд, так как всякое движение непрерывно.

Сколько раз уже слышал Бор эти соображения... Сколько раз произносил их самому себе... У безупречной логики была одна слабость: она опиралась только на классический опыт веков. И, по свидетельству Гейзенберга, Бор отвечал так:

— То, что вы говорите, абсолютно верно. Но это вовсе не доказывает, что квантовых скачков нет. Это доказывает только, что мы не можем их вообразить, что предметно-образительные представления... повседневной жизни и эксперименты классической физики становятся непригодными, когда мы приходим к описанию квантовой прерывности. И нам не следовало бы удивляться этому, раз уж мы сознаем, что замешанные тут процессы не входят непосредственно в опыт нашего бытия.

Шредингер, кроме всего прочего, неосмотрительно возразил, что формирование наших представлений о природе его не интересует: «Я предпочитаю оставить это философам». А Бор и был физиком-философом.

Годы не притушили его юношеское стремление «вгрызаться в суть вещей». Это-то свойство его ума и воли сделало копенгагенца лидером квантовой революции. Это когда-то сразу оценил в нем Резерфорд. Любивший поиронизировать над чистыми теоретиками, сэр Эрнест говорил о тихом датчанине: «Бор — это другое...» Он был в его глазах исследователем, озабоченным не математическими уловками, а устройством природы и устройством нашего познания природы.

Бор не мог оставить философам то, что готов был оставить им Шредингер. И в споре у постели больного гостя он превратился, к удивлению Гейзенберга, в «почти лишенного милосердия фанатика». Он рано будил дурно спавшего Шредингера и, перестав быть тихим, принимался вновь и вновь за осаду этой «волновой крепости». В конце концов, исчерпав все защитительные аргументы, Шредингер и взорвался памятной нам фразой:

— Если эти проклятые квантовые скачки действительно сохраняются в физике, я простить себе не смогу, что вообще когда-то связался с квантовой теорией!

Что же ответил Бор:

— Но зато все мы чрезвычайно благодарны вам за то, что вы это сделали! Ваша волновая механика принесла с собою такую

математическую ясность и простоту, что явилась гигантским шагом вперед...

Свидетель Гейзенберг увидел, как разом исчезло все немилосердие фанатика и вновь заговорило обычное добросердечие Бора. Отчего? Да оттого, что спор окончился. Не разрешился, но окончился: с последней фразой Шредингера ушла из полемики наука, а вошла в полемику драма характера — драма человека, не умеющего расставаться со своими предубеждениями... Нельзя же было пытаться оспаривать проклятья и заклинания!

7

Случившееся виделось Гейзенбергу поражением волновой ереси. Хотя Шредингер не сдался, важнее было, что защититься он не смог. Разве это не означало, что вся физическая правда оказалась на стороне матричной механики?

Так он думал, не подозревая, что теперь настанет для него пора испытаний — и не многодневных, а многомесячных. И что они тоже приведут к взрыву страстей, а окончатся лишь в марте будущего 1927 года. И окончатся по-другому — взлетом к вершинной точке всех исканий эпохи бури и натиска.

Схватки с Бором ему было не миновать.

Позднее, уже «переваливший за шестьдесят», он словоохотливо признавался историкам:

—...Электрон всегда рисовался моему воображению в виде маленькой сферы. Я, бывало, говаривал только одно: — Иногда, конечно, можно с пользой называть его волной, но это не более чем способ разговора, а физическая реальность тут ни при чем...

Его в те молодые годы тоже не очень беспокоило формирование наших представлений о природе. И он, по крайней мере тогда, тоже готов был «оставить это философам». А меж тем он отлично знал позицию Бора и сам прекрасно изложил ее в книге воспоминаний:

«А Бор пытался во всем учитывать одновременное существование и корпускулярной, и волновой картин. Он держался убеждения, что лишь обе картины могут совместно обеспечить полное описание атомных процессов».

Он добавил, что «испытывал неприязнь к такому взгляду на вещи». И не собирался отказываться от своей корпускулярной ереси, совершенно так же, как Шредингер — от волновой. Ясно, что мир в Копенгагенском ин-

ституте не мог наступить и после отъезда цюрихского профессора.

Гейзенберг жил в мансарде института, Бор — во флигеле. Часто их дискуссии переносились из аудитории с грифельной доской в домашнюю обстановку. Спорили далеко за полночь в холостяцкой квартирке младшего и нередко в дело шел бодрящий портвейн. Оба на здоровье не жаловались и обладали спортивной выносливостью, но даже им такие бдения не давались легко.

Нескончаемые дискуссии шли с единственной целью: понять, откуда берется истинность у квантовой механики с ее логическими странностями, каких не ведала классика?

Они уже понимали смысл неперестановочности умножения и вероятностный смысл пси-волн, но Бора это не удовлетворяло. Он настаивал, что чего-то фундаментально главного они не открыли и что-то всеобъемлющее в своем значении от них ускользает. И критика неприязни младшего к равноправию образов частиц и волн отражала этот далеко идущий поиск, какой вела боровская мысль.

В тех спорах масштаб их размышлений был различен. И тревоги не одинаковы.

С улыбкой самоосуждения, запоздавшей, однако, на тридцать семь лет, Гейзенберг говорил историку Куну в 63-м году, что ему в той полемике хотелось прежде всего утвердить единовластие своего детища — матричной механики. И все надежды он связывал с изворотливостью ее формул: «Математика достаточно умна и сделает все сама — без умствований физиков».

А Бор мучительно стремился объяснить, какой способ нашла природа для примирения образов волн и частиц, несмотря на полную их несовместимость. (В этом духе сам Гейзенберг излагал историку томившую Бора проблему.)

...Белые ниточки тумана в камере Вильсона чаще других экспериментальных наблюдений привлекали к себе их внимание. Подобно Максу Борну в лабораториях института Франка, копенгагенцы могли каждодневно лицезреть эти следы заряженных микрочастиц на своих лабораторных установках.

Резерфордов друг, шотландец Чарльз Вильсон сконструировал свою камеру после долгого изучения туманов у подножья шотландских гор. Еще в юности пленившийся

красотой и загадочностью этого обыкновеннейшего явления природы, он понял, как возникает туманная пелена в воздухе, пересыщенном водяными парами. Такие пары всегда готовы осесть мельчайшими капельками влаги — было бы на что осесть. Заряженные частицы как нельзя лучше служат центрами конденсации — микроцентрами туманообразования.

В 1912 году молчаливый исследователь-одиночка, одержимый тихой страстью к туманам, сконструировал свою камеру: тонкое устройство для создания и фотографирования белого нитяного следа вдоль пути пролета заряженной частицы — электрона или ионизированного атома... Эти нити того же происхождения, что и белые шлейфы неразлично далеких самолетов высоко в небесах. Это популярнейшее сравнение пришло в литературу гораздо позже, чем задумал свою камеру Вильсон.

На вильсоновских фотографиях все выглядело так удобопонятно, а было на самом деле так обескураживающе непостижимо! Бор и Гейзенберг не напрасно глотали ночами бодрящий портвейн.

Получалось, что белые нити тумана позволяли точно проследить движение электрона во времени и пространстве, не так ли? И даже сделать зримым его путь, не правда ли? А когда в 1924 году Петр Леонидович Капица сделал еще один шаг вперед — поместил камеру Вильсона в магнитное поле, стало видно, как пути тяжелых альфа-частиц отчетливо искривляются подобно параболам падающего камня. А треки легких электронов магнитное поле и вовсе превращало в окружности, вызывая мысль об атомных орбитах в модели Резерфорда — Бора. Все это было видно невооруженным глазом.

Но ведь матричная механика началась с утверждения, что орбиты и любые траектории электронов ненаблюдаемы. И волновая механика этого не оспаривала. Что же было делать с таким демонстративным противоречием между прекрасной теорией и прекрасным экспериментом?

Два ведущих мастера теоретического анализа задавали друг другу простенькие вопросы и не находили ответов. Младший не до конца понимал старшего — его интуитивной догадки, что тут работает какой-то еще неизвестный им глубокий принцип или закон. Погружаясь в непонятное, они ныряли на разную глубину. И это несомненно обостряло их взаимную неудовлетворенность, тем

более драматичную, что тогда их связывала высокая взаимная человеческая приязнь. Недовольство затянувшимся — бесплодным — поиском взвинчивало обоих.

Нелегко было бы поверить в это бесплодие, если бы Гейзенберг не оставил четкого свидетельства:

«Ни один из нас не умел растолковать, каким образом следовало достигнуть примирения математического языка квантовой механики со столь элементарным явлением, как траектория электрона в туманной камере... Оттого, что споры наши часто продолжались далеко за полночь и, несмотря на усилия нескольких месяцев, к удовлетворительному результату не приводили, мы оба... (далее идут уже встречавшиеся нам слова)... мы оба начали приходить в состояние полного изнурения, и наши нервы были напряжены до предела».

Тем временем, год 26-й, полный решающих событий в физике микромира, сменился годом 27-м, которому суждено было стать вершинным в нашей хорошей истории.

Взлет к вершине начался в феврале, когда безысходность блужданий в темноте привела Бора и Гейзенберга к размолвке. У них условлена была совместная поездка в Норвегию, дабы вдвоем походить на лыжах и выходить в норвежских снегах примиряющее понимание непонятного. Но настал вечер, когда Бор прервал полемику на полуслове. Следующим утром он уехал на север один, бросив ассистента в Копенгагене. Гейзенберг говорил историку:

— Ему захотелось побыть и подумать в одиночестве. И я полагаю, он был прав...

8

Можно мысленно или вслух отправить ко всем чертям опостылевшего оппонента, но как отделаться от проблемы? Это все равно, что уйти от самого себя: дело заведомо безнадежное.

Главное в науке отыскивается теми, кто на самоотчуждение не способен. Правда, верно и обратное: для успеха ищущему надо уметь отстраниться от своего «я». Только совершив этот подвиг самоотчуждения, он целиком растворится в исканиях. Но это-то растворение и возвращает его к самому себе: ведь он растворяется в том, что составляет суть его внутренней жизни. Значит, в конце концов вся сила его в том, что самоотчуждения не получается. В этом двойственный смысл мастерства сосредоточенности: оно в умении полностью от себя уйти и, одновременно, в умении полностью уйти в себя.

Тут бы начать новую главу и назвать ее — глава о **главном**, но не хочется отделять предстоящее от уже рассказанного.

...Бор в Норвегии виделся со стороны, наверное, так: довольно высокий человек средних лет, чуть за сорок, умело прокладывает свою лыжню, не ищет компании, хочет отдохнуть в тишине — пастор что ли из дальнего прихода или учитель из ближнего городка? Исполать ему... Развлекается как может.

И Гейзенберг на дорожках копенгагенского Фелледпарка в тылах института тоже, наверное, выглядел вполне обыкновенно: худенький клерк — лет двадцать пять — избирает места побезлюдней: устал от работы или переживает несчастливый роман? Исполать ему... Все образуется.

А они, разделенные в том феврале морским проливом и снегопадами, просто-напросто думали. И оба двигались на поводке у проблем, которые их разлучили, будто осуществлялась в те дни телепатическая связь между Норвегией и Данией.

В мемуарной книге Гейзенберга есть строки:

«...В общем, я обрадовался, что он бросил меня одного в Копенгагене, где я мог теперь поразмыслить об этих безнадежно сложных проблемах вполне спокойно. Я сосредоточил все свои усилия на математическом описании электронного пути в туманной камере, и когда довольно скоро убедился, что трудности, возникшие передо мною, совершенно непреодолимы, я начал думать, а не могло ли быть так, что мы все время задавались неверными вопросами. Но где мы сбились с правильной дороги?»

Он все заклинал себя, что имеют физический смысл лишь наблюдаемые величины, и внезапно ночью вспомнил, как годом раньше на коллоквиуме в Берлине Эйнштейн сказал ему уже не раз повторявшиеся здесь слова: «Да, но лишь теория решает, что мы ухитряемся наблюдать!» Только теперь он вдруг оценил их. И потом уверял, что это было, как мгновенное прозрение: вот где ключ к закрытым вратам! Он пустился бродить по ночному парку, чтобы внимательно все обдумать.

...А у Бора в снегах Норвегии не случилось минуты такого явственного прозрения. Давней истории с формулой Бальмера, когда его внезапно осенило понимание скачкообразного рождения спектральных линий, тут не повторилось. И не могло повториться.

Открытие, к которому он шел, не походило на решение конкретной задачи, хотя он тоже думал о ниточках-

траекториях в камере Вильсона. Но для него они были лишь узелком в запутанном клубке всех странностей познания микромира. Он вынашивал оправдание квантовой физики за все ее посягательства на классическое здравомыслие — оправдание полное, а не по частным претензиям привычной логики. Ход его мыслей походил на плавно изгибающуюся лыжную трассу, однако же — трассу слалома, когда на крутом повороте можно сломать шею, если не себе, то теории.

К сожалению, и о той поездке в Норвегию он не успел ничего рассказать историкам. Известно лишь со слов Гейзенберга, что он, Бор, оттуда привез. А действительное течение его тогдашних раздумий снова не восстановить. Каждый вправе взять свою схему, лишь бы итог сходился.

Он мог начать издалека — с крылатого уверенья одного из создателей классической механики, прославленного французского математика Пьера Лапласа: дайте физику точные значения координат и скоростей всех тел и частиц Вселенной в данный момент, и он, физик, предскажет картину мира в любой другой момент, сколь угодно близкий или далекий!

То было выражением веры во всемогущество уравнений классической механики. По тем временам обоснованная вера: эти уравнения позволяли проследить от точки к точке и от мгновения к мгновению всю историю движения любой крупницы вещества известной массы. С одинаковым успехом — в будущее или в прошлое, стоило только в обозначении времени переменить знак «+» на знак «—».

Исходные величины, узванные в какой-нибудь момент, — их называли **начальными условиями**, — определяли с этого момента единственным образом будущее всякой системы материальных точек. А все материальное сущее дозволялось рассматривать, как такую систему или систему таких систем.

Эта механика была воплощением философии железной необходимости: полной предопределенности всего совершающегося в мире — однозначного детерминизма, без вариантов... Чья-то смерть сегодня и чье-то рождение завтра были заданы движением атомов еще в неизвестные времена первозданного хаоса... Законами Случая — игрой вероятностей — мы лишь скрашиваем свою практическую неосведомленность в деталях истории многих

событий (почему сейчас в пасьянсе выпал туз и почему метеорит упал там, а не здесь?). Но в принципе любое событие могло бы быть расследовано до конца.

Для сомнений в этом классическая механика, как и философия фатализма, места не оставляла. Возможное и существующее для нее совпадали.

Но именно в этом давно уже усомнился Нильс Бор, как и все, кто принял идею квантовых скачков за отражение реальности. Теперь было новым не это сомнение, а то, что оно стало решающим для оправдания странностей квантовой механики.

В раздумьях Бора физика превращалась в философию природы. Отто Фриш вспоминает, как в Копенгагене Бор, бывало, прерывал формально математические выкладки оппонента:

— Нет, нет, вы не размышляете, а просто упражняетесь в логике!

Может быть, потому и уехал он тогда из Копенгагена один, бросив споры с чистым физиком-теоретиком, что пришел черед более глубоких споров: пора окончательного расставания с философией классического детерминизма — с однозначной причинностью. Как физик-философ — един в двух лицах — он отыскивал физическую причину неизбежности такого расставания: причину беспричинности.

Скольжение по незапятнанной белизне февральских снегов норвежской Даларны помогало думать, как он любил: освобождаясь от предвзятостей, всем нам внушаемых макроопытом жизни — нашим зрением, нашим слухом, нашим осязанием, наконец, языком нашего общения.

...А Гейзенберг на заснеженных дорожках копенгагенского парка обдумывал вопрос: что же в самом деле видит физик на вильсоновских фотографиях, вглядываясь в белые ниточки-пути заряженных частиц?

«Мы всегда так легко и бойко говаривали, что траектория электрона в туманной камере доступна наблюдению, но то, что мы в действительности наблюдаем, быть может, представляет собою нечто гораздо более скромное... Просто серии дробных и нечетко очерченных ячеек пространства, в которых побывал электрон... Цепочки отдельных капелек влаги, которые несравненно больше электрона...»

Он предметно осознал правоту Эйнштейна: разумеется, надо привлечь теорию, дабы рассудить, что же открывается нашим глазам. Тут работали вместе теория

возникновения туманов и теория размеров электрона-частицы.

Пусть капля — ячейка пространства — будет мельчайшей: диаметром в тысячную долю миллиметра (10^{-4} см). Все-таки электрон (10^{-13} см) окажется в миллиард раз меньше! Если электрон — сантиметровая муха, то капля тумана — полая планета. Внутри капли электрон, как муха внутри сферы величиною с Землю. Где он там находится и куда в данный момент летит? Неопределенность ответа так чудовищна, что задаваться вопросом о траектории электрона, глядя на туманный его след, то же самое, что спрашивать о траектории мухи, наблюдая движение Земли по ее орбите.

Нет, очевидно, спрашивать надо о другом. Совсем о другом:

«...Может ли квантовая механика описать тот факт, что электрон только приблизительно находится в данном месте и только приблизительно движется с данной скоростью, и как далеко мы можем сводить на нет эту приблизительность?..»

Классическая механика ответила бы не колеблясь: все зависит от точности измерительных процедур. В идеале не должно быть никаких приблизительностей. Теоретически их всегда и всюду можно довести до нуля. В моих формулах царит полная и неподкупная точность.

Квантовой механике приходилось быть осторожней. Вероятностное поведение электрона предостерегало от такой гордыни. Эта механика в гейзенберговской форме записывает на полях своих «турнирных таблиц» обилие возможностей, открытых перед электроном. Проигрывая в точности, она выигрывает в богатстве описания природы. Она — механика возможного, которому еще предстоит с разной вероятностью стать действительным. В лаборатории, как и в природе. Поскольку в лаборатории не происходит ничего, противного законам природы.

Когда взялся Гейзенберг за вывод математического ответа на новый вопрос — вопрос о приблизительностях, тотчас появилась на бумаге неклассическая формула: $AB \neq BA$... Эти буквы были для него в тот момент символами операций идеального — наиточнейшего! — измерения именно координаты электрона (A) и скорости (B). Но теперь он принялся манипулировать не с самими измерениями, а с возможными приблизительностями — неопределенностями! — в их результатах: ΔA и ΔB (дельта A и дельта B).

Он жаждал увидеть, что происходит с этими «дельтами» — с этими вынужденными неопределенностями — по законам его механики: могут ли они обе вместе исчезать — становиться равными нулю — в процессе движения электрона?

Классического ответа: «Конечно, могут и должны!» — он не ожидал. Если эти неопределенности могут исчезать, значит, есть у электрона определенная траектория движения. И сказка начинается сначала. Нет, он скоро убедился, что «дельты» вместе никогда не сводятся к нулю. Но ему надо было показать математически, как далеко их можно сводить на нет — какова максимально достижимая точность в измерении координаты и скорости, если узнавать их для одного и того же момента движения.

Надо было найти предел, который тут поставила природа.

...А Бор, начав издалека, совершил мысленный скачок через море подробностей к своему первому покушению на классическую однозначную причинность — к открытию квантовых скачков.

Он любил говорить о присущей атомным процессам целостности. Атом, излучающий квант, нельзя задержать на полдороге: не существует полдороги и половинки кванта. Действует взамен классического девиза «природа не делает скачков» другой девиз: или — все, или — ничего! Либо перескок в новое устойчивое состояние, либо пребывание на прежнем рубеже. Из-за утраты непрерывности — он не уставал повторять это — закрывается возможность плавно-причинного описания внутриатомных событий.

Лишенный на своей одинокой лыжне оппонента во плоти, он сам находил возражения за бдительного противника:

— Согласен, квантовые скачки-переходы не проследимы. Они как прыжок через пропасть в непроглядной тьме: был прыгун на одной стороне и очутился на другой, а траектория его прыжка осталась неизвестной. Но ведь была же она строго определенной! Разве не зависела она от начальных условий прыжка — от местоположения точки отталкивания и от скорости тела в исходный момент? Наша беда, что мы не умели из-за темноты засечь эти начальные условия, однако наша беспомощность к делу отношения не имеет. Существенно лишь то,

что они, эти начальные условия, были! А дальше все могли бы рассказать о линии полета прыгуна классические уравнения. Так отчего же надо по-иному смотреть на квантовые скачки? И у каждого из них есть точные начальные условия! Узнавать их — наша забота, а природа ни в чем не виновата. Пожалуйста, раз это практически невыполнимо, прибегайте к законам случая и обсуждайте вероятности разных вариантов скачка, но не делайте отсюда слишком далеко идущих выводов: не утверждайте, что в микромире нет места для однозначного хода событий — для классической причинности. У вас просто нет на это права...

Возражать противнику было трудно. Меж тем весь опыт физики микромира требовал возражать. Снова и снова Бор убеждался: квантовой механике чего-то недостает, чтобы доказательно опровергнуть доводы классика.

Слабо защищенным, а вернее, вовсе незащищенным выглядел в этих доводах один пункт: уверенность, что самой природе в отличие от беспомощного физика безусловно известны точные начальные условия квантовых скачков. Это было нечто вроде религиозной догмы: классика так велела!

...Но классика велела, чтобы время было абсолютным, а оно оказалось относительным.

...Классика велела, чтобы физическая скорость могла быть сколь угодно большой, а обнаружился предел — скорость света в вакууме.

...Классика велела, чтобы действие в природе могло быть сколь угодно малым, а открылся квант действия, меньше которого не бывает.

...Классика велела волнам быть только волнами, а частицам только частицами, между тем...

Много новостей принес XX век. Много изменилось в физическом мышлении. Веления классики уже не сдерживали интуиции искателей правды природы. Однако требование к теории быть непротиворечивой оставалось принудительным.

Пока еще можно было, хотя бы умозрительно, говорить о точных начальных условиях для движения электрона, никакие доводы не сокрушили бы возражений классика. Он настаивал бы и настаивал, что траектории в микромире есть, а скачками не руководят вероятностные законы случая.

Но что если эта вера безосновательна? Что если природа обходится без определенных начальных условий движения? Вот когда бы это открылось!

Тогда сразу потеряло бы силу уверенье Лапласа: дайте мне точные значения координат и скоростей для всего вещественносущего, и я предскажу вам будущее Вселенной... Нельзя дать того, чего нет! Вера в однозначный ход вещей потеряла бы в глубинах материи последнюю опору.

Наверняка была в снегах Норвегии минута, когда и Бор, подобно Гейзенбергу в Копенгагене, привлек к своим размышлениям странную формулу $AB \neq BA$... Ее смысл не исчерпывался тем, что результат двух операций измерения в микромире зависит от их порядка и AB дает не то же самое, что BA .

Если важно, какая операция проводится сначала, а какая потом, то из этого вот что следует: их нельзя провести одновременно. Когда бы можно было, очередность не играла бы никакой роли: ведь одновременность то и означает, что нет «сначала» и нет «потом» — нет очередности.

Тут проглядывала еще одна необычайная черта микромира: в нем есть наблюдаемые величины, не поддающиеся одновременному узнаванию.

Не так ли обстоит дело именно с координатой и скоростью электрона? Да, конечно: с первых же шагов квантовой механики формула непрерывности умножения получалась как раз для того случая, когда A — измерение координаты, а B — измерение скорости. И у Гейзенберга, и у Борна, и у Дирака так получалось.

Но это же и есть те самые начальные условия, каких требует классическая механика для своих предсказаний. А на их-то совместное узнавание для любого момента времени устройство микромира накладывает запрет. В том, что квантовая механика отражает это устройство, у Бора сомнений не было.

Запреты теорий, когда она истинна, — принципиальные запреты: никакими лабораторными уловками их не обойти. Как, скажем, не обойти закона сохранения энергии: сколько ни мудри, а вечного двигателя не построишь. Так и здесь: как ни старайся, а точных начальных условий для квантового скачка не определишь. Законы природы неотменимы. Их можно до поры до времени не знать, но их нельзя слушаться.

Весь вопрос в том, открылся ли тут действительно закон или выявился лишь результат хорошего рассуждения?

Если закон, то, стало быть, не особенности квантовой теории мешают узнавать одновременно координату и скорость электрона, а сама природа не ведает этого. Она в своих глубинах обходится без однозначной причинности. Она и вправду — вероятностный мир.

Хотя сомнений в добропорядочности механики микромира у Бора и не было, хорошее рассуждение еще не могло служить строго выведенным законом. Но в снегах Норвегии Бор ничего не писал — ни научных писем, ни статей. Он не делал математических выкладок. И черной доски у него не было под рукой. Он только думал. И предчувствовал, и сознавал: такой закон есть!

...А Гейзенберг тем временем в Копенгагене довел до конца свои независимые выкладки. Он нашел предел, до которого природа разрешает сводить на нет неопределенность в координате и неопределенность в скорости электрона.

Да, в поведении микрочастицы есть обилие возможностей. И это обилие не может исчезать — сводиться к нулю, к однозначной точности. Предел совместному уменьшению неопределенностей ставило существование все того же минимального кванта действия h ! Планковский «таинственный посол из реального мира» и здесь давал о себе знать.

Было утро во второй половине февраля 27-го года, когда на листе бумаги замаячила выведенная рукою до крайности возбужденного Гейзенберга коротенькая формула для связи двух «дельт» — двух неопределенностей:

$$\Delta A \Delta B \geq h \quad (\text{или } \Delta x \Delta p \geq h)$$

(Она читалась так: произведение неопределенностей в координате и в скорости — или в импульсе — частицы может быть больше кванта действия или равно кванту действия, но никогда не становится меньше него.)

В этой формуле сразу бросалась в глаза удивляющая закономерность: когда уменьшается неопределенность в координате, растет неопределенность в скорости и, наоборот, чем определенной делается скорость, тем менее определенной становится координата электрона.

Теперь математически понятной стала ненаблюдаемость орбит в планетарном атоме. По отдельности они

могут быть достаточно хорошо наблюдаемы — координата и скорость электрона-планеты, но стоит только попытаться точно замерить одну из этих величин, как в тот же момент делается совершенно неопределимой вторая.

Коротенькая формула сообщала и о другом. Оттого что неопределенности выступают парами, они накладывают друг на друга узду. Разумеется, там, где есть место для множества вариантов поведения, там повелевает случай. Но закономерная связь между неопределенностями усмиряет господство случая своей мягкой властью. Случай в микромире — не произвол.

...Как и в мае 25-го года после Гельгоlanda, Гейзенберг решил изложить свою находку прежде всего старому приятелю Вольфгангу Паули. («Старому!» — об этом еще было не близко до тридцати!) Таких длинных писем первый, кажется, покуда не писал, а второй — не получал: 14 страниц научного текста — почти готовая статья.

Ответ из Гамбурга пришел еще до возвращения Бора из Норвегии. С необычной для него восторженностью, без иронии и яда, Паули назвал происшедшее на копенгагенской мансарде событие «утренней зарей». И восклицал: «Да будет отныне день в квантовой механике!»

Формула Гейзенберга получила скромное название — соотношение неопределенностей.

А позже, оценив ее основополагающее значение, физики стали часто говорить о принципе неопределенности. И вместе с ними — философы, потому что коротенькая формула легко и с полным правом совершила прыжок из владений квантовой физики в область философии природы.

Это и был тот искомый фундаментальный закон, до которого в те же дни, ведя свой давний спор с классической причинностью, почти добрался в норвежском одиночестве Нильс Бор.

Надо ли растолковывать, что он перечувствовал, когда по возвращении в институт увидел гейзенберговскую формулу?! Она явилась для него зрелищем и прекрасным, и драматическим. Его бывлой ассистент шведский теоретик Оскар Клейн рассказал историкам:

— ..Бор отнесся с истинным восхищением к этой замечательной формуле. А в то же время ему стало как-то не по себе, быть может, потому, что все это роилось в его собственной голове, да не успело оформиться до конца.

Но разве не «удивительнейшим образом удивительное», что они — Бор и Гейзенберг — нашли порознь и не-

схожими путями то, до чего не могли доискаться вместе? Психологически совсем не удивительно...

Верно, что в спорах рождается истина. Так было, в сущности, и на сей раз: без многомесячной, мнимо безисходной дискуссии ни один из них, вероятно, до решения не добрался бы. Но верно и другое: в спорах истина умирает. Она в них попросту тонет. В спорах беспрестанно разрушается сосредоточенность каждой из сторон. Кроме взаимной помощи, возникают взаимные трения-помехи. И в тысячный раз оправдывается испанская народная мудрость: «Вдвоем привидения не увидишь!» Теоретические открытия сродни привидениям.

Наверное, прав был, или уж по меньшей мере знал, о чем говорил, выдающийся английский философ и математик Бертран Рассел:

«Без способности к умственному одиночеству культура была бы невозможна».

А наш академик Владимир Иванович Вернадский, ученый необъятной широты мышления, как раз в ту пору, в середине 20-х годов, однажды написал своим коллегам по академии:

«Вся история науки доказывает на каждом шагу, что в конце концов постоянно бывает прав одинокий ученый, видящий то, что другие своевременно осознать и оценить были не в состоянии».

Возникновение соотношения неопределенностей — одна из лучших страниц в истории квантовой революции. Она, как притча, навечно годная впрок... В наши дни господства громадных институтов и многолюдных лабораторий многие живут с убеждением, что в совместном научном поиске и только в нем — вся сила. Они заблуждаются: не вся! Поиски сообща — великий стимулятор. И нигде не ценили этого так высоко, как в копенгагенской школе Бора или московской школе Ландау. Но надо уметь разлучаться — отправляться в умственное одиночество. Может быть, в самый несчастливый момент тупика это-то всего более и надобно — уметь разлучиться. Недаром же Резерфорд после шести часов вечера разгонял остающихся в лаборатории: «Нельзя все время работать — надо же когда-нибудь и думать!» Он знал, когда и как являются привидения...

Бору в Норвегии вслед за первым привидением — контурами соотношения неопределенностей — явилось еще и второе. Гейзенберг сказал, что Бор привез с собою принцип дополнительности.

Что дало право Гейзенбергу на такое умозаключение? Ведь сами эти слова — принцип дополнительности или теория дополнительности — Нильс Бор впервые ввел в обращение только осенью 1927 года, а тогда лишь кончался февраль. Суть в том, что идея, как всегда, родилась раньше термина.

Приготовленную Гейзенбергом статью о соотношении неопределенностей Бор встретил не только с восхищением. Раздалась и критика. Да, обычная в ту эпоху буре и натиска неумолимая критика. Она бывала уделом каждого нового шага вперед — такому шагу всякий раз надлежало быть безупречно обоснованным. Слишком высока была ставка — убедительность нового физического миропонимания. Ученик сознавал это не менее остро, чем учитель.

«...Я никогда не послал бы мою работу в печать, прежде чем не узнал бы, что Бор ее одобряет», — говорил Гейзенберг историку Куну.

А Бор сразу заметил огрехи в выводе замечательной формулы. Эти огрехи не сказывались на результате, но вызывали сомнение в его строгости и обязательности. А источником ошибок было все то же одностороннее пренебрежение Гейзенберга к волновой ипостаси частиц:

«Я хотел вывести все из матричной механики, и потому мне не нравилось привлекать к этой проблеме волновую теорию».

А привлекать пришлось. Ну хотя бы оттого, что ему понадобилось мысленно поставить идеальный эксперимент по наиточнейшему измерению координаты и скорости электрона. Он должен был показать, что и в идеальном опыте неопределенности остаются.

...Сверхчувствительный микроскоп. Практически неосуществимый, но теоретически — сколь угодно. Электрон освещают самые-самые коротковолновые лучи. Они, как игла, накалывают микрочастицу и засекают место ее пребывания. Для точности нужна игла поострее. А ширина острия — это длина волны освещающего луча. Даже рентгеновский луч тут непригоден: слишком тупая игла — у него длина волны соизмерима с диаметром атома водорода, а электрон в десятки тысяч раз меньше. Вы захотели узнать адрес друга и слышите в ответ: он живет где-то в пределах Москвы! Такова точность рентгена, если ваш друг — электрон. Но мысленно можно брать иглы сколь угодно острые — гамма-лучи радиоактивных

элементов. И добиваться все большей точности. Неопределенность в знании координаты будет становиться все меньше. И наконец гамма-микроскоп сможет сообщить надежный адрес: вот он, здесь, электрон!

Ясно, когда это случилось бы: при исчезающе малой — нулевой — ширине острия. Но столь тонкого острия не существует — нет гамма-лучей с длиной волны, равной нулю. А на квантовом языке гамма-лучи — это еще и поток фотонов с очень высокой частотой колебаний электромагнитного поля. Чем короче волна, тем больше частота, тем энергичней квант-фотон. При нулевой длине волны частота бесконечна. Такой фотон приносил бы бесконечную энергию. Он обладал бы бесконечной массой. Это в свой черед физическая бессмыслица.

Словом, даже в идеальном эксперименте не удалось бы измерить координату электрона с абсолютной точностью. (По дороге там случились бы еще и другие осложнения, но это уже не важно.)

А если что-нибудь невозможно в идеальной лаборатории, то оно невозможно и в природе: только по одобренным ею сценариям ставят физики свои экспериментальные фильмы.

Однако что же получается? Гамма-микроскоп все-таки позволяет в мысленном опыте все уменьшать и уменьшать неопределенность в координате (лишь бы не до нуля)?

Да, позволяет. Но что происходит при этом со второй неопределенностью — с уточнением скорости электрона? Чем тоньше накальвающее острие, тем энергичней квант. И потому тем непоправимей нарушает он движение электрона: при столкновении с массивным фотоном в момент измерения координаты электрон приобретает неопределимую скорость. И эта неопределенность его дальнейшего движения растет по мере утоньшения гамма-острия.

Это и отражается в соотношении неопределенностей.

Видно без пояснений: математический рассказ об этом мысленном эксперименте с гамма-микроскопом требовал сочетания обеих картин — корпускулярной и волновой. А Гейзенбергу не нравилось привлекать волновую. И он заранее знал, что это его «мне не нравилось» не понравится Бору:

«...Я чувствовал, что у Бора вызовет недовольство мое истолкование проблемы...»

И тут разыгралась сцена, которая показалась бы вымыслом, если бы через тридцать шесть лет в беседе с историком о ней не рассказал сам Гейзенберг:

— ...Бор втолковывал мне, где я был не прав... Помню, как это кончилось: у меня брызнули слезы — я разрыдался, потому что просто не сумел вынести давления Бора.

Вот так!.. Мог ли подумать боровский ассистент Крамерс, когда острил по поводу квантовых побед, — сначала им радуются, а потом от них плачут, — что однажды его шутка материализуется в настоящих соленых слезах? Идеи и страсти шли рука об руку до конца.

По-видимому, именно в те часы неодолимого давления Бора Гейзенберг и услышал от него впервые еще не латинский термин «принцип комплементарности», но уже само это слово «дополнительность». И понял, какое новое понимание квантовых странностей привез с собою из Норвегии Бор.

10

В своих тогдашних раздумьях глава копенгагенцев не остановился на мысли о парах наблюдаемых величин, почему-то не поддающихся одновременному узнаванию. Ему хотелось ответа: а в самом деле, почему?

Вообще-то говоря, для пары «координата—скорость» ответ был готов. Его давал сдвоенный образ «частица—волна». Однако можно ли было удовлетвориться таким ответом? Он сам терзал воображение, не умеющее представить себе микрокентавра. Он сам мучил мысль, не умеющую логически примирить несовместимые образы волны и частицы.

А главное, что оставалось загадочным, — почему только вместе эти несовместимые образы обеспечивали полноту отражения неклассических свойств микрореальности? Истинное знание покупалось ценой абсурда — сочетания несочетаемого. Почему приходилось платить эту цену?

В несчетный раз Бор находил одно-единственное объяснение неизбежности такого абсурда: для описания микромира физика вынуждена пользоваться языком макромира.

А почему — вынуждена? Разве нельзя было бы научиться разговаривать об атомах, электронах, квантах на их собственном неклассическом языке? Тогда не воз-

никало бы никаких несовместимостей и странностей. Научиться такому языку можно в лаборатории: там не возбраняется задавать микромиру вопросы и слушать его ответы, переспрашивая столько раз, сколько понадобится. Оно бы хорошо, не правда ли?

Конечно, хорошо. Да только раздаваться эти ответы микромира будут все-таки на макроязыке и никак не иначе. На осциллографах будут змеяться зримые кривые, на пленках будут прорисовываться видимые треки, на приборах будут двигаться стрелки... Чтобы стать доступными регистрации — пусть самой изощренной, — микрособытия должны будут сначала породить в лабораторных установках макроинформацию. В противном случае, как узнает об этих событиях физик?

Все наши установки и устройства — по необходимости! — детища макромира. И описание узнанного — тоже по необходимости! — придется вести с помощью макро-словаря.

Два десятилетия спустя Нильс Бор с прозрачной простотой объяснял философски искушенным читателям журнала «Диалектика»:

«...Слово «эксперимент» может, в сущности, применяться для обозначения лишь такого действия, когда мы в состоянии рассказать другим, что нами проделано и что нам стало известно в итоге».

Вот этого-то всего иначе не рассказать, как на обычном языке, возникшем в макромире человеческого опыта. В этот словарь входит и прекрасно разработанный научный словарь классической физики — физики макромира.

Один из последних ассистентов Нильса Бора Оге Петерсен — он, между прочим, помогал историкам в ноябре 1962 года выведывать у семидесятисемилетнего учителя детали прошлого — вспоминал позднее юмористическое предположение, однажды высказанное учителем:

— Конечно, может случиться так, что когда через несколько тысяч лет электронные компьютеры начнут разговаривать, они будут говорить на языке совершенно отличном от нашего, считая нас всех сумасшедшими, потому что они не смогут общаться с нами. Но наши проблемы состоят не в том...

В дни норвежского уединения Бора компьютеров еще не было, однако «наши проблемы» томили его сильнее, чем когда-либо прежде. Он тогда молчаливо выхаживал по снежной целине их принципиальное осмысление. Не первый год он думал о них, а теперь дошел до главного...

Снова: ход его размышлений не восстановить, но итог подсказывает удобную нам схему.

...Некое микросущество, обладай оно разумом, тоже сочло бы сумасшедшими физиков, явившихся «через несколько тысяч лет» и заговоривших о каких-то нелепейших «частицах-волнах» и тому подобных непонятностях. Но физик в самом деле нечем заменять классические образы.

Пусть бы принято было предложение ввести для микрореконтавров новый термин — уэйвиклс, или волницы... Что изменилось бы? Всегда пришлось бы держать в голове раскрытие этого псевдонима волн-частиц. Словарь давал бы справку: «Уэйвиклс — микрообъектики со свойствами частиц и со свойствами волн». Проблема вернулась бы с черного хода.

Однако представим себе чудо: желанно непротиворечивый и понятный физикам собственный словарь микромира все-таки нашелся! Несбыточное сбылось... Но разве от этого потускнело бы другое логически-лингвистическое чудо, и притом не воображаемое, а реальное:

— неподвластное классической физике, странное поведение всего населения микромира, оказывается, можно с успехом описывать и классическими образами, да еще совершенно несовместимыми!

Как это понять? Значит, могущество классического языка распространяется и на микрореальность?

Осторожно! Язык — это не только словарь, но еще и грамматика — законы, управляющие словами.

Словарь поневоле сохраняется: частица... волна... координата... скорость... непрерывность... скачки... причинность... случайность... От этих понятий никуда не уйти. Но грамматика классической физики уже не работает, как прежде: то совмещается несовместимое (как волна и частица), то не сочетается сочетаемое (как скорость и координата)...

Явственно видны черты грамматики, чуждой макромиру. И потому, хоть слова и обычны, описание становится необычным. Неклассическим. Так не есть ли это — старый словарь плюс новая грамматика — тот искомый собственный язык глубин материи, какой подслушивают физики в лабораториях, задавая природе свои настойчивые вопросы?

Вспоминая в Норвегии сентябрьские споры со Шредингером, Бор теперь видел, что волновая ересь — про-

тест против новой грамматики, хотя могло показаться, что это протест против нежеланных старых слов: если избавить словарь природы от частиц, то будет хорошо. Нет, смысл протеста был в другом: если уйдут из словаря неугодные слова, то и не надо будет совмещать несовместимое — волны с частицами, непрерывность с прерывностью, причинность со случайностью... Новая грамматика станет не нужна... И Гейзенберг в своей корпускулярной ереси в конце концов тоже протестовал против этой грамматики, хотя и у него это выглядело протестом против неугодных слов... Оба создателя механики микромира жаждали избавления от противоположностей.

А Бор увидел: не надо искать путей для такого избавления.

В равноправии несовместимых черт нет конфликта с природой. Надо признать законность их сосуществования. Надо понять, что они не борются, а действительно сосуществуют! — настаивал в своем монологе Бор.

Да ведь и впрямь: законно ли говорить, что волнообразность электрона борется с его корпускулярностью? Можно ли утверждать, что координата и скорость, одновременно неопределимые, соперничают между собой? Философски это издавна называется борьбой противоположностей. Но физически механизм этой борьбы таков, что прежде он оставался неизвестным диалектике природы: тут противоположности выходят на арену физических взаимодействий не вместе — между ними не происходит схватки. И нет ни победителей, ни побежденных.

Нет эксперимента, в котором бы свет или электрон демонстрировали сразу, в одном событии, обе свои несовместимые классические черты. Они обнаруживают либо волнообразность, либо корпускулярность. В первом случае физик наблюдает интерференцию — наложение волн, во втором — выбивание электрона фотоном. Или что-нибудь в этом роде.

В такой разделенности нужных для дела опытов нет ничего таинственного. Надо каждый раз — снова и снова — отдавать себе отчет, что подопытные объектики у микрофизики — кентавры. Экспериментирование с ними напоминает обращение с биноклем: нельзя заглянуть в него сразу с обеих сторон — уменьшающей и увеличивающей. Его надо переворачивать — вести отдельные наблюдения. И в свойствах бинокля нет конфликта с природой.

А каков мир на самом деле — «уменьшенный» или «увеличенный»? Оба зрелища равно реальны. Но показывают: то, что мы наблюдаем, зависит от способа наблюдения. Не существование мира от этого зависит, — он-то существует, нимало не заботясь о тревогах физиков! — а зависит от этого другое: что и как мы в нем видим. (Загляни в бинокль крот с любой стороны, он не увидел бы вообще ничего: для его бедного и робкого познания окружающего это слепой физический прибор.)

Нет конфликта с природой и в отдельных экспериментах квантовой физики. Природа своим бытием ставит такие эксперименты непрерывно.

...Синее небо над нашей головой — результат рассеяния солнечного света на скоплениях атмосферных молекул. Если угодно, можно выразиться и так: это Солнце измеряет местоположение молекул воздуха и для этого насыпает на них фотоны, которые и фиксируют более или менее определенные координаты. Не имеет значения, что при этом никто не ведет лабораторного дневника.

...Атом водорода в стационарном состоянии — тоже результат нечаянного эксперимента. Это электрон поставил опыт по измерению силы притяжения встречного протона и вот — попался на незримую цепь.

В одних явлениях природы микрокентавры ведут себя как частицы, в других — как волны. А что они такое на самом деле? Ответ очевиден: и то, и другое.

Но тут вспоминается, как шутил академик Ландау: «Частицы-волны — это обман трудящихся!» И уже вполне серьезно советовал избегать этого словоупотребления: «Оно ничего не дает» — даже в популярном рассказе об идеях квантовой механики. И повторял свою излюбленную мысль, кажется, впервые высказанную им на столетии со дня рождения Планка (Москва, 1958):

«...Человек в процессе познания природы может оторваться от своего воображения, он может открыть и осознать даже то, что ему не под силу представить».

Вероятно, Ландау в своих научных исканиях и вправду уже не нуждался в услугах воображения. Но каково нам? Сдвоенный образ волны-частицы, именно благодаря своей непредставимости — при том, что врозь волна и частица представимы прекрасно, — помогает нашему воображению освоиться хотя бы со всей необычайностью микромира. И понять, почему эта необычайность понуждает исследователей отрывать от своего воображе-

ния. Не потому ли сдвоенный образ частицы-волны начиная с 25-го года высоко ценил Нильс Бор? И однажды, давая интервью о своих надеждах теоретика, Ландау тоже разрешил себе использовать этот «обман». А ссылку на Бора встретил быстрым ответом: «Что позволено Юпитеру, то не позволено быку!» И рассмеялся.

Странность грамматики микромира в том и заключается, что классически несовместимым образом или понятиям природа предоставила право дополнять друг друга — не исключать, а дополнять. Доведенное до крайности, до полной несовместимости, зло противоречивости превращается в благо **дополнительности**.

Вот что в феврале 1927 года привез с собою из Норвегии Бор, как смог в этом убедиться Гейзенберг, слушая неумолимую критику своих огрехов.

Его детские слезы в тот памятный час иссякли быстро. Новой размолвки не произошло. Критические соображения старшего младший принял, как должное, и все исправил. И может быть, тогда же или чуть позднее понял вслед за Бором, что соотношение неопределенностей — частное проявление более общего, еще не до конца оформившегося принципа **дополнительности**.

Замечательная математическая формула для связи неопределенностей ясно показала, что совместное знание несовместимого возможно с ограничениями, которых не устранить. И для полноты описания изменчивой, вероятностной микрореальности надо выводить на сцену взаимноисключающие картины явления как **дополнительные**. Без этого охватить пониманием целое не удастся.

...Шли годы и десятилетия. До конца своих дней Нильс Бор постоянно убеждал ученых коллег из других областей знания — биологов, психологов, языковедов, историков культуры, — что принцип **дополнительности** может и для них служить путеводной нитью. Короче: он придавал этому принципу общепhilosophическое значение. И с течением времени все больше исследователей приходило к признанию его правоты. Но это другой рассказ.

А сам он незадолго до смерти так ответил на вопрос ассистента, заметное ли место занимала в его научном творчестве работа над философскими проблемами познания: «В некотором смысле это была моя жизнь!»

В глубоком смысле это была жизнь и самой квантовой физики в эпоху бури и натиска, когда в борении страстей рождалась картина вероятного мира природы...

Права заключительная



Конца не будет

Я описываю характеры, положения, детали, особенности с единственной высшей целью: представить действительность... как видение, движимое выбором и свободой, как определенный вариант среди других вариантов.

Б. ПАСТЕРНАК (XX век)

1

Поздней осенью 1927 года — точно затем, чтобы дать нашей хорошей истории впечатляющее завершение, — встретились вместе чуть ли не все ее ведущие участники.

Они встретились на 5-м конгрессе Сольвея.

Среди 32 делегатов были: Антон Лоренц и Макс Планк, Альберт Эйнштейн и Пауль Эренфест, Нильс Бор и Макс Борн, Луи де Бройль и Эрвин Шредингер, Вильям Брэгг и Петер Дебай, Вернер Гейзенберг и Вольфганг Паули, Поль Дирак и... впрочем, не довольно ли? Кажется, никогда еще в эпоху бури и натиска не

бывало такой представительной встречи физиков разных поколений — от семидесятилетних до двадцатилетних.

Вспомним: на 1-м конгрессе Сольвея, когда теперешние двадцатилетние были еще мальчишками, а теперешние старики пребывали в пору своей зрелости, председательствовавший Лоренц поставил задачу создания механики микромира. Миновали шестнадцать лет, и вот желанная механика возникла. Снова председателем был Лоренц. И так естественно бы прозвучали из его уст слова благодарной признательности тем, кто эту механику создал. Но ожидаемые слова не прозвучали: искомая механика нашлась, однако не оказалась желанной для великого классика! И на 5-м Сольвее ей пришлось пройти «боевое крещение», как выразился впоследствии Гейзенберг.

Старейший из присутствовавших, Лоренц яснее и проще всех своих единомышленников высказал недовольство картиной вероятностного мира в глубинах материи:

— Представление о явлениях, которое я хочу себе составить, должно быть совершенно... определенным. Для меня электрон — это частица, которая в каждый данный момент находится в определенной точке пространства. И если электрон сталкивается с атомом, проникает в него и после многочисленных приключений покидает этот атом, то я... представляю себе некоторую линию, по которой электрон двигался в атоме.

Что могли возразить старейшему более молодые? Тут даже не было предмета для спора. Он просто возвращал их к началу начал — к их собственным, мучительным и напрасным, бессонным попыткам эту «некоторую линию» найти в эксперименте и описать уравнением. Лоренц не опровергал квантовую механику, а просто отвергал. Но ощутили ли участники конгресса, что втайне им руководило трагическое чувство?

Он, создатель классической теории электронов, видимо, сознавал неотвратимость нового физического миропонимания. Иначе он в ту пору не сказал бы академику Иоффе то, что сказал:

«Я потерял уверенность, что моя научная работа вела к объективной истине, и я не знаю, зачем жил; жалею только, что не умер пять лет назад, когда мне еще все представлялось ясным».

Мало кто отважился бы на такое признание. Великий физик был еще и великим характером. Он доказал, что драма идей — это драма людей.

А первым заговорил о драме идей Эйнштейн. Не тогда, а позднее. И не только по поводу квантовой физики. Но 5-й конгресс Сольвея не мог не храниться в его памяти

как живое воплощение этой драмы, разыгранной в лицах. Он был там главным действующим лицом. Потому главным, что в отличие от Лоренца он попытался не просто отвергнуть, но опровергнуть неизбежность вероятностной картины микромира.

2

Конгресс заседал с 24 по 29 октября в Брюсселе.

Прошел уже почти год с тех пор, как в декабре 26-го Эйнштейн написал свою ироническую, а вместе с тем и глубоко серьезную фразу о Старике, который «не бросает кости». Известную прежде одному только Максу Борну, он теперь привез ее в Брюссель и довел до общего сведения. Она была его девизом — кратчайшим выражением нерушимой веры в господство классической причинности. Старой, доброй причинности — хорошей, однозначной, не оставляющей места вероятностному выбору возможностей: бросанию костей...

Твердость его позиции поняли все. Не только сторонники, но и противники. Гейзенберг потом вспоминал:

«Бог не играет в кости» — то был его непоколебимый принцип, один из тех, какие он никому не позволил бы подвергать сомнению».

Но, может быть, Эйнштейн, работавший в одиночестве, попросту не знал, что за минувшие месяцы открылось в делах природы соотношение неопределенностей? Ведь он написал свою фразу, когда этот закон еще не был найден и не был строго доказан. А если бы знал он о нем, то, вздохнув с сожалением, покорно признал бы свою неправоту (он умел это делать!).

Но нет, он отлично знал о появлении в квантовой механике этого фундаментального закона. Нильс Бор еще в апреле 27-го — за полгода до Брюсселя — послал ему корректуру исторической работы Гейзенберга и свои сверхдобрительные комментарии к соотношению неопределенностей. Эйнштейн тогда ничего не ответил Бору, а теперь...

А теперь день за днем шли дискуссии. В маленьком зале конгресса, в ресторане старого отеля, в Королевском парке, на улицах бельгийской столицы. Об этих дискуссиях не писали газеты и не кричало радио. Фоторепортеры не щелкали своими камерами и журналисты не вели репортажей с поля боя. Меж тем шел бой. И может быть, с неисчислимыми последствиями, потому что то

была решительная, если не решающая, схватка идей на необозримом поле, где предстояло расти и взростеть атомному веку.

Какой случай упустили газетные публицисты всего мира! Впрочем, тут не было их вины: они не могли бы ни прислушаться к спорящим голосам, ни оценить значение спора. На Филиппинских островах, где разобщенные островитяне создали 80 разных языков и не создали единого для всех, есть язык, на котором разговаривают всего 26 человек... Вот примерно таким был еще в 27-м году язык квантовой физики.

А сегодня видно: та многодневная схватка в Брюсселе была беспримерным единоборством двух сил. Происходившее давно уже сравнил с поединком чемпионов на ринге историк и теоретик Леон Розенфельд — бельгиец, ставший позднее ассистентом Бора. Но, пожалуй, больше подошло бы сравнение с шахматным Матчем Века между двумя гроссмейстерами экстракласса: каждый день — новая партия, и каждая партия — с откладыванием позиции для домашнего анализа, и каждый раз — этюдное решение, потому что иначе выигрыш не достигался. Белыми все время играл Эйнштейн: он делал первый ход и отыскивал стратегию нападения. Черными все время играл Бор: он выбирал дебют и находил стратегию защиты.

Когда Эйнштейн заговорил вслух о Старике, не играющем в кости, глаза его победительно сияли. Это отметили мемуаристы. Гейзенбергу запомнилась ответная реплика Бора:

— Но, право же, не наша печаль — предписывать господу богу, как ему следовало бы управлять этим миром!

А сам Бор через двадцать два года, в статье к 70-летию Эйнштейна, изложил эту реплику, хоть и скучнее, но тоньше:

«...Я отвечал, что уже мыслители древности указывали на необходимость величайшей осторожности в присвоении Провидению атрибутов, выраженных на языке повседневного опыта».

Это имело тот смысл, что физики, разговаривая об устройстве микромира, должны с величайшей осмотрительностью пользоваться классическим языком нашего макроопыта.

Так началась их дискуссия — с обмена афоризмами. Это была коротенькая разведывательная партия — единственная, сыгранная вничью. В ней еще не было физики. А потом пришел черед физических доводов. И у Эйн-

штейна было то преимущество, что иные из них он заготовил впрок.

Его руководящую идею легко понять.

Он знал: вывод соотношения неопределенностей неопровержим. Оно получено из основ квантовой механики и безошибочно подкреплено мысленным экспериментом со сверхчувствительным микроскопом. Но если оно справедливо, то надо смириться: классическая однозначная определенность событий исчезает из физической картины природы навсегда. А так как этого нельзя допустить — да-да, так как его философия природы громко против этого протестует, — то должна найтись система опровергающих аргументов. И конечно, физических, а не каких-нибудь других. «Какие-нибудь другие» — философические, религиозные, психологические — знания законов природы не заменяют. Где же нужные аргументы найти?

А вот где — в самой квантовой механике. Формула для неопределенностей прекрасно выведена из ее основ, но разве доказано, что эти основы прекрасны, то есть обладают исчерпывающей полнотой? Он сказал себе: нет, они явно неполны, им чего-то крайне существенного недостает. Чем и как дополнить эти основы, он не знал. Он надеялся на будущее.

Так глубока была его надежда на достижение в будущем такой желанной полноты, что он счел себя вправе сразу же приняться за опровержение соотношения неопределенностей. Другими словами, он заранее отказал этому закону в статусе истинного физического закона. И решил продемонстрировать, что он может запросто не выполняться.

Все тут верно, кроме словечка «запросто». Запросто не получалось. И Эйнштейн стал придумывать тонкие, хитроумные, парадоксальные построения — мысленные эксперименты, — в которых неопределенности неизбежно сводились к нулю. Они исчезали, точно кванта действия h и не существовало! Торжествовал принцип определенности... Так казалось Эйнштейну. В неострашимости своих доводов он не сомневался. Потому и сияли победительно его глаза.

Но к вечеру первого же дня это сияние погасло. Предложенный утром мысленный эксперимент Эйнштейна Бор в течение дня разобрал, как часовщик неизвестный прежде механизм, и вечером показывал, что вот здесь

сцепление деталей нарушается и часы работать не будут... Теперь сияли глаза Бора.

Однако недолго... Впрочем, лучше всего предоставить слово самому заинтересованному свидетелю — Вернеру Гейзенбергу:

«Дискуссии обычно начинались уже ранним утром с того, что Эйнштейн за завтраком предлагал нам новый мысленный эксперимент... Естественно, мы тотчас принимались за анализ... И, как правило, вечером во время совместного ужина Нильс Бор уже с успехом доказывал Эйнштейну, что даже и это новейшее его построение не может поколебать соотношение неопределенностей. Беспокойство охватывало Эйнштейна, но на следующее утро у него бывал готов к началу завтрака еще один мысленный эксперимент — более сложный, чем предыдущий, и уж на сей-то раз, как полагал он, неопровержимо демонстрирующий всю несостоятельность принципа неопределенности. Однако к вечеру и эта попытка оказывалась не более успешной, чем прежние...»

Так после бдительного анализа Бор выигрывал партию за партией: всякий раз ему удавалось обнаружить неприметную ошибку в очередном парадоксе — всякий раз открывалось, что неопределенности устранить нельзя. Матч Века с самым мощным из возможных противников квантовая механика завершала с сухим счетом, если не считать ничейной половинки в исходном обмене репликами о Старике и Провидении.

Иначе и быть не могло: на стороне Бора — на стороне квантовой физики — была природа.

Замечательно, что близкий друг Эйнштейна Павел Сегизмундович Эренфест однажды сказал ему во время той дискуссии:

— Мне стыдно за тебя, Эйнштейн: ты оспариваешь новую квантовую теорию совершенно так же, как это делали с теорией относительности твои враги!

Еще раз — на великом примере — подтвердилась работа Бернарда Шоу, который уверял, что единственный урок истории состоит в забвении ее уроков. Даже Эйнштейну не удалось явить собою исключения из этого вечного правила.

3

Был день на конгрессе, когда все его участники, по-пимающе улыбаясь друг другу, рассматривали карикатурный рисунок, сделанный на черной доске Эренфестом: недостроенная Вавилонская башня и надпись из Книги Бытия — «Там смешал Господь язык всей земли». Изображая квантовую драму идей, Эренфест напоминал,

почему по библейской легенде Вавилонская башня осталась недостроенной: «Никто не понимал речи другого». Он юмористически призывал коллег если не к единомыслию, то к взаимопониманию...

А дело в том, что спорили не только Эйнштейн и Бор. Де Бройль настаивал на теории волны-пилота. Шредингер — на единовластии волн. Паули — на отрицании моделей. И один не находил поддержки у другого, другой — у третьего, третий — у первых двух, четвертый — у всех остальных, все остальные — у пятого... И это смешение языков на конгрессе было как бы репетицией или образом того, что еще ожидало квантовую механику впереди — в неизвестной дали грядущих десятилетий.

На счастье, к осени 1927 года весь остов башни был уже достроен целым интернационалом ее строителей из разных стран. И уже ничто не могло ее сокрушить — ни знакомые нам разноречия среди самих строителей, ни тем более мнимотаранящие удары из лагеря староверов (вспомните, как Сергей Иванович Вавилов писал об астрономах-староверах времен Коперника). Но всего знаменательней, что неожиданно для себя ей помог утвердиться на земле сильнейший из ее противников — отнюдь не старовер! — Эйнштейн. Дважды помог: сначала — своими квантовыми идеями, потом — своим непримиримым противоборством.

Да, это так: и противоборством помог... Через тридцать шесть лет после 5-го конгресса Сольвея, в 1963 году, постаревший Вернер Гейзенберг по праву заслуженного ветерана убеждал историков, что исход дискуссии Бора с Эйнштейном породил ощущение поворотного этапа в развитии квантовой физики:

— Знаете, сегодня я мог бы выразить суть происшедшей перемены в терминах судопроизводства: «Бремя доказательств перешло к другой стороне». Это бремя вдруг перешло к людям типа Вилли Вина, ибо распространилась весть, что существует целая группа ученых, которые могут ответить на каждый вопрос, возбуждаемый экспериментом... И если вам угодно что-нибудь возразить против их взгляда на вещи, вы должны будете найти опровержения. А молва утверждала далее, что опровергнуть их точку зрения до сих пор не удалось никому — даже Эйнштейну... Стало известно, что Эйнштейн не сумел сделать этого за время продолжительного конгресса в Брюсселе... И копенгагенцы получили право говорить еще более молодому поколению: «Теперь все в порядке, идите вперед!»

Теперь все в порядке!.. Мы-то из нашего сегодняшнего далека едва ли можем по-настоящему оценить тот психологический поворот — тогдашнее чувство облегче-

ния, пережитое ветеранами квантовой революции. Они еще не сознавали себя — возвышенно и с привкусом гордыни — ветеранами той революционной поры: они просто дьявольски работали. И сегодня это видится так: у взбиравшихся в гору гора свалилась с плеч — они вышли на вершину и прочно утвердились на ней.

4

Здесь и заканчивается наша хорошая история — на вершинной точке вершинного года эпохи бури и натиска.

Заканчивается? Да нет, только обрывается... И как все хорошие истории — на полуслове, ибо уже дежурит вопрос: а что было дальше? Ведь если вершина, то, стало быть, и спуск?

Но в познании природы этого не бывает. Время неостановимо движется вперед, и наука неостановимо движется вверх. Время — с монотонной равномерностью по всегда положительно направленной оси, а наука — скачками, по ступеням. Эти ступени могут быть пологими или крутыми, однако никогда не спускаются вниз: знание не убывает, а только растет. Понимание накапливается, но не тратится. В годы научных революций ступеней поднимаются круто — потому и трудно их одолевать. Понимание взлетает рывками — потому и трудно за ним поспевать.

Так что же такое вершина на этой ступенчатой кривой, не знающей спусков? Да всего лишь просторная площадка перед новым подъемом, чьи очертания — еще в непроглядном тумане. Возникает иллюзия, что выше подниматься некуда. Но это сама крутизна научной революции создает на время такую иллюзию оседланной вершины. А истинной-то вершины нет...

Годом 1927-м завершилась лишь наиболее драматическая пора эпохи бури и натиска. Но даже совершенно условные временные рамки архива истории квантовой физики отводили этой эпохе еще пять лет — до 1932 года.

Буря и вправду не затихала. Натиск и вправду не ослабевал. Уже не единицами и десятками, как прежде, а сотнями и тысячами работ стал измеряться ежегодный урожай на открывшихся просторах.

Фундаментальные исследования привлекали все новые имена. В ряду самых ярких из них засветились на рубеже 30-х годов имена и наших выдающихся физиков —

не только Сергея Вавилова, Петра Капицы, Льва Лаңдау, уже вспоминаяшихся на этих страницах, но и многих других — Леонида Мандельштама, Игоря Тамма, Владимира Фока, Якова Френкеля... И тех, кому предстояло в будущем сыграть ведущие роли в эпопее создания нашей атомной энергетики: имена Игоря Курчатова, Анатолия Александрова, Льва Арцимовича, Якова Зельдовича, Исаака Кикоина, Георгия Флерова... Все они начинали в эпоху бури и натиска.

В ту пору теоретики и экспериментаторы брали в руки свежие номера физических журналов с уже привычным и не напрасным ожиданием радующих новостей. Каждый месяц был чем-нибудь примечателен. И каждый год оставлял в истории свой нестираемый след.

Словом, наша хорошая история блистательно продолжалась.

Она длится и сегодня.

5

Весной 1975 года мне посчастливилось во второй раз поработать в копенгагенском архиве. Там почти ничего не изменилось. Был тот же флигель 20-х годов, где некогда жил Нильс Бор, и та же рабочая комната с окном, занавешенным солнечным туманом, только на сей раз весенним. Был тот же глубокий стальной контейнер, где алфавитной чередой стояли папки с историческими свидетельствами ветеранов, только череда эта пополнилась прежде недостававшими копиями некоторых стенограмм. Была весьма пожилая хранительница архива, знававшая еще молодыми едва ли не всех сподвижников Бора, только на сей раз не тихая Бетти Шульц, а другая его секретарша, приветливо властная Софи Хэллман... Чувствовалась твердая рука. Наверное, в этом появилась нужда: интерес к архиву возрос...

Как во всяком хранилище старых документов, время здесь казалось остановившимся. Но за столом, где семь лет назад архивные материалы разглядывал я, теперь их штудировал юноша из ФРГ — не литератор, а начинающий историк. Невольно пришло в голову, что семь лет назад он был в своем Штутгарте совсем еще мальчиком, а теперь вот со взрослой доскональностью расследует перипетии рождения принципа дополнительности. Вместе с ревнивым чувством, что у него больше прав

на этот стол и на эту архивную тишину, вернулось ко мне ощущение летящего времени, которое «уносит и приносит».

Меня устроили в светлом кабинете наверху. Его временный обитатель — теоретик из Польши — ускал в отпуск. Не знаю темы его занятий, но на открытом стеллаже у стены среди журналов и препринтов лежала английская книга по кристаллохимии. А на верхней полке — два коричневых тома, показавшихся мне знакомыми со стародавних студенческих лет. Полез удостовериться и увидел знаменитые «Основы химии» Менделеева — 8-е издание 30-х годов. Это было удивительно в Копенгагене 70-х, да еще в институте теоретической физики Бора.

Все это вместе: немецкий историк и польский теоретик, 30-е годы в гостях у 70-х, великий русский химик в гостях у великого датского физика, классика одной науки в гостях у антиклассики другой, XIX век в XX, — все это вместе вдруг показалось мне живым и наглядным воплощением связи времен, связи народов, связи культур. Воплощение было нечаянным и случайным — одним из миллионов возможных и действительных, но потому-то особенно убедительным в своей непреднамеренности и естественной простоте.

Этими связями живо человеческое познание.

Недавно, перебирая свои копенгагенские заметочки для памяти, я наткнулся на запись: «Взять из Предисловия к 8-му изд. «О. Х.» Менделеева, стр. XXIII...» Вспомнилось, как однажды под вечер, устав от нелегких иноязычных текстов, я решил ублажить себя чтением по-русски и достал со стеллажа Менделеева. Тогда и сделал эту повелительную запись «взять». Но что же именно?.. Пришлось заново посмотреть. И вот что бросилось в глаза:

«Сперва науки, как и мосты, умели строить лишь при опорах из прочных устоев и длинных балок. Мне желательно было показать... что науки давно уже умеют, как висячие мосты, строить, опираясь на совокупность хорошо укрепленных тонких нитей, каждую из которых легко разорвать, общую же связь очень трудно, и этим способом стало возможным перебрасывать пути через пропасти, казавшиеся непроходимыми. На дно не опираясь, и в науках научились пересекать пропасти неизвестного, достигать твердых берегов действительности и охватывать весь видимый мир...»

Подумалось: да ведь это провидчески написано прямо про нашу хорошую историю — про возведение квантового моста между микро- и макромирами!

Уязвимые тонкие нити... И нерасторжимая общая связь...

А еще подумалось, что это приложимо и к свершениям тех десятилетий, которые последовали за эпохой бури и натиска, когда квантовая физика, достигнув твердых берегов действительности, стала и впрямь постепенно охватывать весь видимый мир. И при мысли об этом возникло острейшее сожаление, что тут архив замолкает. Время в нем не кажется остановившимся, а вправду остановилось.

Это не в упрек его собирателям: они-то свою программу осуществили на удивление полно. Но нашему ненасытному и такому оправданному интересу к жизни замечательных идей хочется продолжения программы — ее расширения за пределы первой революционной поры. Хочется собрания документальных источников ко всей истории квантовой физики — вплоть до наших дней. И прежде всего — свидетельских рассказов самих ученых.

Легко сказать! Да как представить себе такой необъятный архив? Как его собирать? Не похоже ли это на попытку вычерпать море?

В 20-х годах у Резерфорда в Кавендишской лаборатории работало три десятка сотрудников. Тогда же Бор начинал работу в своем копенгагенском институте со штатом в семь человек. У Эйнштейна только в конце 20-х годов появилась наконец секретарша... Недаром же лишь около ста ветеранов квантовой революции сумели разыскать историки во всех концах земли, чтобы вызнать у них, «как дело было». А участников всего, что свершила квантовая физика потом, и всего, что создает она сегодня, уже не сотни, а легион. Сколько прозрений и заблуждений, надежд и разочарований, побед и драм... Сколько характеров и судеб!

Охватывая шаг за шагом весь видимый мир, квантовая физика ветвилась и ветвится на множество, хоть и связанных, но отдельных дисциплин. От квантовой теории полей (ровесницы самой квантовой механики) до квантовой теории процессов сознания (новейшего увлечения отважных теоретиков). И у каждой ветви раскидистого древа — своя история роста. Так хорошо бы и свой будущий архив первоисточников!

По нынешним временам это, наверное, единственно реальный путь собирания живых свидетельств и еще не

утраченных исторических документов: ветвление хранилищ. И едва ли уже мыслимы архивы мирового масштаба. Надежней создание архивов национальных.

6

Вот мощная ветвь квантового познания микромира: изучение элементарных частиц...

Год 1932-й, условно признанный замыкающим эпоху бури и натиска, был назван физиками «годом чудес». Он удостоился этой чести прежде всего потому, что к трем уже известным элементарным частицам — электрону, протону, фотону — в том году прибавились сразу две новые: Джеймсу Чэдвику открылся предсказанный Резерфордом нейтрон — первая атомная частица без электрического заряда, а Карлу Андерсону открылся предсказанный Дираком позитрон — первая античастица, во всем копирующая электрон, но заряженная положительно.

5 частиц — весь улов трех с половиной десятилетий. А еще через три десятилетия с лишним «Физический словарь» смог сообщить: «К 1965 г. общее число элементарных частиц заметно превысило 100!»

В научной публицистике появился расхожий образ рога изобилия, из которого посыпались «первоосновы материи». Так стали говорить об этом сами физики, с изумлением оглядывая свое нарастающее богатство: никогда прежде они на него не рассчитывали...

Сначала — два, затем — четыре, а потом и шесть сортов нейтрино. Два мю-мезона. Три пи-мезона. Четыре К-мезона. Семья нуклонов и целые выводки частиц тяжелее ядерных — дельта-резонансов. Лямбда-гипероны, сигма-гипероны, кси-гипероны. А там и сообщества еще более тяжелых частиц — ипсилон и пси... Разные массы. Разные времена жизни. Разные наборы квантовых характеристик — таких, как издавна знакомый спин и раннее неведомые странность и очарование. Разные роли в основных физических взаимодействиях... А потом еще неожиданные-негаданные кварки с дробными электрическими зарядами... И вот в 1978 году энциклопедический том уже оповещает, что число элементарных частиц перевалило за 350!

В самом деле может почудиться, будто некий рог изобилия с легкостью одаривает физиков небывалыми

щедротами. Но символического рога нет, а легкость — иллюзия. Как правило, открытие каждой новой частицы — это научный подвиг, сперва — теоретический, потом — экспериментальный. (Хотя заведомо ясно, что не каждая из них — истинно элементарна, а часто лишь представляется элементарной до поры до времени.)

Вспоминается одно из таких открытий.

Оно было сделано весной 1960 года нашими физиками в Дубне. Они показали существование антисигма-минус-гиперона, предсказанного в 50-х годах. Он, этот гиперон, как и все его собратья, нестабилен: время его жизни — от рождения до распада — десятиллиардные доли секунды (10^{-10}).

Однако, пронизывая камеру-детектор с околосветовой скоростью, он успевает оставить за собою заметный след. И физики умудряются этот след сфотографировать вместе со следами тех частиц, в которые он превращается, распадаясь. А в камере происходят одновременно десятки других микрособытий. Они тоже регистрируются фотопленкой, маскируя искомый редчайший след. Компьютеры тогда еще не помогали физикам в таких исканиях. Дубенским экспериментаторам пришлось самим обследовать 40 000 кадров научной киносъемки, пока на одном из них они не обнаружили желанного гостя и не убедились после кропотливых обчетов, что их действительно посетил антисигма-минус-гиперон.

Первым почувствовал, что он видит искомое, молодой физик Анатолий Кузнецов. Это его собственное признание — «почувствовал»! Мне случилось тогда написать об этом: для повествования в книге «Неизбежность странного мира» важна была такая психологическая деталь. А всей истории того открытия я не касался. И потому получилось, что приписал одному ученому то, что совершенно было целым коллективом.

Потом пришло письмо от Анатолия Кузнецова. Он писал, что мог бы рассказать «много интересного о своих товарищах по работе, которые столько сделали для этого открытия». И перечислил десять своих соавторов да двух учителей, коротко помянув преодоленные трудности.

А когда через три года американские физики искали предсказанный теоретиками Гелл-Манном и Нееманом омега-минус-гиперон, им пришлось изучить следы на 100 000 кинокадрах!

Но не в этих числах со многими нулями существенная новизна. На заре эпохи бури и натиска Марии и Пьеру Кюри понадобилось сделать 10 000 перекристаллизаций, чтобы выделить первые крупинки радия. А резерфордцам Гейгеру и Марсдену потребовалось пересчитать 1 000 000 сцинтилляций — всплеск на экране от рассеянных на разные углы альфа-частиц, чтобы апробировать идею атомного ядра... Новизна в другом.

Атомы радия и атомные ядра — создания самой природы. А физика элементарных частиц, раскрывая квантовые возможности природы, научилась «собственноручно» создавать объекты своего изучения. Вот этого в эпоху бури и натиска физики делать еще не умели. Да им это было тогда без нужды.

В принципе дело просто... Неотменимо действует эйнштейновский закон эквивалентности энергии и массы — знаменитая формула $E = mc^2$. Она допускает как бы овеществление энергии в подходящих условиях. Решающее условие очевидно: нужна колоссальная энергия, дабы возникла «вещь» хотя бы ничтожной массы. И обнаружилось: при столкновении высокоэнергичных частиц с другими таинственный механизм приводит к рождению новых частиц. Это постоянно происходит в космических лучах. Но поток их редок и неуправляем. Физики стали снабжать частицы высокой энергией на мощных ускорителях.

Когда в 1955 году американские физики во главе с Э. Сегрэ и О. Чемберленом открывали антипротон, они сумели создать его в Беркли, благодаря ускорителю на 6 миллиардов электронвольт. Для рождения антипротона с его массой водородного ядра такой энергии более чем хватало. Однако для «производства» более тяжелых гиперонов и антигиперонов лучше было владеть источником еще большей энергии. И когда в 1960 году наши исследователи во главе с академиком Владимиром Векслером открывали антисигма-минус-гиперон, подмосковная Дубна была единственным местом на земле, где физики таким источником владели: там уже три года работал крупнейший по тем временам ускоритель — синхрофазотрон на 10 миллиардов электронвольт.

Так история открытия самого малого в природе — элементарных частиц — естественно переплелась с историей конструирования самого большого в лабораторной технике нашего века — гигантских ускорителей. А помог

им стать гигантскими прежде всего Владимир Векслер.

Еще во время войны, в 1944 году, он первым — до Эдвина Макмиллана — нашел революционизирующий принцип ускорения (названный «принципом автофазировки»). Это позволило в тысячи раз увеличить энергию разгоняемых частиц: раньше счет шел на миллионы, а теперь пошел на миллиарды электронвольт! Детище Векслера — ускоритель в Дубне — долгие годы первенствовал в семье ускорителей, пока его не обогнали синхрофазотроны в Женеве, в Серпухове, в Батавии... Начальные годы этого первенства и принесли векслеровским ученикам, среди них — Анатолию Кузнецову, тот незаурядный успех.

И вот что еще. Рассказывая об открытии антисигмы, Кузнецов особо отметил заслугу М. И. Соловьева: создание «прибора, без которого невозможно было бы получить фотографию нашей частицы». Речь зашла об этом неспроста.

То был дубенский вариант изобретенной в 50-х годах быстродействующей камеры для съемки треков заряженных частиц — не прежней камеры Чарльза Вильсона, где частица оставляет след из капелек тумана, а новой камеры Дональда Глейзера, где похожий след прочерчивается пузырьками пара. Прибор был чувствительный, сложный, оснащенный едва ли не всей доступной в те дни автоматикой. Словом, дубенцы экспериментировали на уровне века. Иначе ничего бы не вышло.

А когда за пять лет до того американцы искали антипротон, им неоценимую помощь оказал еще и другой современный прибор, который тоже незнаком был экспериментаторам эпохи бури и натиска: черенковский счетчик. В этом тонком устройстве пролетающая частица сообщает о себе и о важных своих параметрах, испуская излучение Вавилова — Черенкова, открытое в 1934 году.

Академику Сергею Вавилову принадлежала направляющая догадка, а его ученику, тоже будущему академику, Павлу Черенкову — мастерские наблюдения. Голубое свечение жидкости под действием потока гаммаквантов обладало такими интересными свойствами, что строго истолковать его можно было только на совсем особый лад: энергичные кванты при встрече с атомными электронами придают им сверхсветовую скорость, и вот

эти-то сверхбыстрые электроны оставляют за собою, как шлейф, голубое свечение.

Сверхсветовая скорость? Да ведь она невозможна! Конечно. Но с маленьким уточнением: свет нельзя обогнать в пустоте, а сквозь вещество — сквозь жидкость или газ — он сам движется медленнее, чем в вакууме, и превысить ту его скорость законы природы не запрещают. Теорию излучения Вавилова — Черенкова детально разрабатывали в 1937 году будущие академики Игорь Тамм и Илья Франк. Через двадцать с лишним лет, в 1958 году, они вместе с Павлом Черенковым были удостоены Нобелевской премии (к тому времени С. И. Вавилова уже не было в живых, а эти премии посмертно не присуждаются).

На торжественной церемонии в Стокгольме профессор К. Зигбан, представляя наших лауреатов, объяснил: «Открытие Черенкова, Франка и Тамма нашло в последние годы приложение решающей важности в исследовании структурных основ и природы материи...» Да, незаменимая помощь в распознавании антипротона стояла уже тогда в длинном ряду добрых услуг, какие оказал экспериментаторам эффект Вавилова — Черенкова.

Суть происходящего в черенковском счетчике легко уловить: надежно регистрируя по их свечению уникально скоростные частицы, он выделяет их из числа всех остальных, более медленных. Оттого-то в опытах на могучих ускорителях без этого прибора трудно обойтись. И не удивительно, что черенковские счетчики работают ныне не только на земле, а путешествуют еще и на спутниках — в космических лабораториях. Они передают ученым нужные сведения о свойствах микротелец, ускоряемых и рождающихся не в институтах Дубны и Беркли, Серпухова и Женевы, а во Вселенной. Там разгоняет их самый грандиозный ускоритель из возможных — галактические силовые поля...

Так лабораторный инструментарий квантовой физики служит сегодня своими новшествами и физике космоса.

7

...Дубенский антисигма-минус-гиперон. В духе менделеевского размышления о науке можно бы сказать: это — всего лишь одна из хорошо укрепленных нитей, переброшенных через пропасти, казавшиеся непроходи-

мами. Всего одна. Но стоит ухватиться за эту нить, и вот как много за нею тянется! Всего лишь одна глава? из истории открытия элементарных частиц. Да нет, и того меньше: лишь подглавка с беглым рассказом о двух чертах в экспериментальной картине события. А сколько усилий исследователей разных поколений и разной известности! Сколько исканий, растянутых на десятилетия! И как отчетливо выявляется громадный вклад наших физиков в историю раскрытия «первооснов материи»!

Когда-нибудь эта история, разумеется, будет написана. Но разве не пора собирать для нее документальные материалы уже теперь? И среди них — переписку и живые свидетельства ветеранов. Этого никогда не заменят ни лабораторные дневники, ни протоколы ученых советов, ни институтские отчеты. Наука, как эйнштейновская «драма идей», доподлинно оживает в перекрестных голосах ветеранов. А ветераны уходят. Историкам уже ни о чем не расспросить ни Вавилова, ни Векслера, ни Тамма... Помните, как историки эпохи бури и натиска не смогли ни о чем расспросить ни Эйнштейна, ни Паули, ни Шредингера... Безучастную поступь времени ничем не задобрить.

Хорошо бы историкам, в согласии со старым девизом, торопиться делать добрые дела. И это справедливо не только по отношению к эпопее открытия элементарных частиц — любая ветвь квантовой физики, да и любая ветвь естествознания, взывает о том же.

...Вот о чем невольно думалось в стенах копенгагенского архива.

А чем же закончить нашу хорошую историю, на самом деле не имеющую конца?

Пожалуй, лучше всего — той же поразительной мыслью Менделеева о науках, сумевших «на дно не опираясь, достигать твердых берегов действительности и охватывать весь видимый мир». Да, конечно, квантовая физика, уводящая воображение человека в глубины материи, никогда не могла «опираться на дно»: она тем и занята, что сама его ищет. И будет искать всегда.

Каждая новая ступень на графике ее роста — это всякий раз временная иллюзия достигнутого дна. Как заметил однажды насмешливо мудрый Ежи Лец: «Ступив на самое дно, он услышал, как снизу стучат!»

Глубины природы, очевидно, бездонны. Придет время, — возможно, оно уже близко, — когда и квантовая механика, как в недавнем прошлом классическая, дойдет до границ своей применимости. Для этого нужно, чтобы исследование микромира углубилось до прежде неведомого уровня физической реальности и проникло в него. Кажется, физики уже слышат, что «снизу стучат»... Во всяком случае они прислушиваются... Так, есть идеи-намекы, что в ультрамалом, куда еще не добрался эксперимент, скажут свое, быть может, законодательное, слово неизбежные изменения геометрических свойств пространства-времени. Последствия этого могут оказаться для описания природы вновь революционными.

Одно несомненно: в ультрамикром мире нас будут ждать не старые радости возвращенной классики, а новые неслыханные удивления. И новые великие огорчения, из которых вырастет радость нового непредвиденного знания.

1979

Москва

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Александров А. П. 194
 Амаальди Эд. 11
 Андерсен Г. X. 158
 Андерсон К. 197
 Архимед 124
 Арнимович Л. А. 194
 Байрон Дж. 109, 110
 Бальмер И. 77—81, 86, 87, 126,
 136, 155, 168
 Барроу И. 103
 Болховитинов В. Н. 24
 Бор Нильс 7, 8, 10—17, 20, 23,
 27, 44, 49, 70—89, 91—101,
 104, 105, 111, 115, 118, 121—
 128, 131—133, 136, 138, 140,
 142, 144, 155—158, 162—170,
 172—183, 185—192, 194—196
 Борн Макс 10—12, 15, 70, 100,
 123, 137, 140, 142, 143, 145,
 149, 151—157, 162, 165, 174,
 186, 188
 Бройль Л. де 12, 23, 90, 91,
 105—112, 118, 120, 123, 133,
 146, 150, 151, 156, 186, 192
 Бройль М. де 105, 109
 Брэгг В. Г. 31, 95, 100, 119,
 129, 186
 Бэлл 111
 Вавилов С. И. 54, 101—103,
 119, 120, 192, 194, 200—202
 Вайскопф В. 147
 Ван дер Варден Б. 132
 Векслер В. И. 199, 200, 202
 Вернадский В. И. 177
 Вильсон Ч. 165, 166, 169, 200
 Вин Вилли 161, 162
 Вуд Р. 41
 Галилей 52, 53, 99
 Гамильтон В. 69
 Гассенди П. 101
 Гаусс К. 105
 Гегель 77
 Гейгер Г. 29, 30, 33, 37, 152,
 199
 Гейзенберг Вернер 11, 23, 70,
 99, 104, 119, 122, 123, 129,
 137—149, 152, 153, 157, 158,
 161—171, 174—180, 183, 185,
 186—189, 191, 192
 Гелл-Манн М. 198
 Герц Г. 84
 Герцен А. И. 24
 Гильберт Д. 145, 151
 Гиме 91
 Глейзер Д. 200
 Гоудемит С. 130
 Гюйгенс Х. 101
 Дебай П. 79, 123, 124, 186
 Декарт Р. 35, 101
 Демокрит 19
 Демпстер 114
 Джеммер М. 124
 Дирак Поль А. М. 11, 70, 124,
 135, 136, 141, 157, 174, 186
 Довний А. 109
 Дэвиссон К. Д. 110, 111
 Зеeman П. 128
 Зельдович Я. Б. 194
 Зигбан К. 201
 Зоммерфельд Арнольд 39, 79,
 86, 99, 100, 126, 127—129,
 138, 161, 162
 Носс Г. 54
 Иоффе А. Ф. 9, 16, 21—23,
 43, 44, 106, 108, 131, 187
 Иордан П. 15
 Калькар И. 10
 Капица П. Л. 16, 72, 143, 166,
 194
 Кеплер И. 99, 126

- Киконн И. К. 194
 Клейн Оскар 12, 176
 Кондон Э. 145
 Коперник Н. 121, 192
 Крамерс Г. А. 118, 180
 Крониг Ральф 130, 131, 132, 142, 162
 Кузнецов А. 198, 200
 Кун Томас 9, 12, 13, 15, 71, 137, 178
 Курант Р. 95
 Курчатов И. В. 194
 Кюри Мария 38, 199
 Кюри Пьер 199
 Ландау Л. Д. 16, 23, 70, 98, 103, 131, 147, 155, 156, 177, 184, 185, 194
 Ланжевен П. 38, 106, 108
 Лаплас П. 169, 174
 Лауэ М. фон 96
 Лебедев П. Н. 24, 39, 59
 Ле Корбюзье 88
 Ленард Ф. 55, 56
 Леонардо 46
 Лещ Ежи 202
 Ломоносов М. В. 101, 103, 105
 Лоренц Г. А. 38, 52, 65, 66, 69, 75, 84, 97, 98, 100, 131, 186, 187, 188
 Лукреций Кар 19
 Льюис Дж. Н. 153
 Майкельсон А. 47, 48, 52—54, 120
 Макмиллан Э. 200
 Максвелл К. Дж. 34, 35, 84
 Мандельштам Л. И. 194
 Марсден Э. 28—30, 33, 199
 Менделеев Д. И. 74, 195, 202
 Миллер 54
 Мопертюн П. 68, 69
 Морозов Н. А. 24
 Моцарт В. 46
 Нееман 198
 Нейман Дж. фон 9
 Нернст В. 38
 Ньютон И. 35, 48, 51, 52, 61, 99, 101, 102, 112
 Оппенгеймер Р. 11
 Остроградский М. 69
 Павлов М. 24
 Пайерлс Р. 103
 Пастернак Б. 77, 186
 Паули Вольфганг 9, 70, 128, 129, 132, 138, 142, 143, 144, 162, 176, 186, 202
 Петерсон О. 181
 Перрен Ж. 24, 110
 Планк Макс 38, 40—46, 49, 65—67, 74, 84, 86, 91, 96, 99, 101, 108, 112, 120, 121, 132, 184, 186
 Платон 22, 101
 Пруст М. 12
 Пуанкаре Анри 38, 52
 Пушкин А. С. 46
 Рассел Б. 177
 Резерфорд Эрнест 10, 17, 20, 23, 25—31, 33, 36, 37, 38, 70—74, 79, 82, 88, 91—95, 97, 100, 105, 106, 119, 127, 133, 136, 163, 166, 177, 196
 Рентген В. 20, 21, 55, 56, 110, Ридберг Т. 89
 Ритц В. 86, 87
 Розенфельд Л. 77, 142, 189
 Ромер О. 67
 Рубенс Г. 42
 Рунге К. 95
 Рэлей Дж. В. 95, 96, 97, 100
 Рэлей (Стрэтт) Р. 26
 Сальерн А. 46
 Сегрэ Э. 199
 Скобельцын Д. В. 16
 Содди Ф. 26
 Соловьев М. И. 200
 Сольвей Э. 38, 65, 69, 71, 106, 132, 187
 Стони Дж. 19, 24
 Тамм И. Е. 10, 16, 22, 194, 201, 202
 Тиле Т. 72
 Толстой Л. Н. 62, 64
 Томсон Дж. Дж. 19—21, 24—26, 31, 39, 40, 61, 70—72, 106, 111
 Томсон Дж. П. 110, 111
 Тютчев Ф. И. 34, 62
 Уилер Дж. А. 8
 Улепбек Г. 130, 131
 Усен К. 111, 112
 Фабрикант В. А. 159
 Фарадей М. 34, 73
 Фезер Н. 31
 Ферми Энрико 9, 12, 147
 Флеров Г. Н. 194
 Фок В. А. 16, 194
 Франк Джеймс 10, 76, 152, 165
 Франк И. М. 201
 Франклин В. 19
 Френкель Я. И. 16, 194

- Фриш Отто** 30, 76, 96, 170
Хансен Х. 76, 77, 79, 82—84
Хевеш Д. фон 73, 74, 81, 84, 89
Хефдинг Х. 14
Хлебников В. 114
Холл Дж. 5
Хунд Ф. 15
Хэйлброн Д. 74
Хэйлманн Софи 194
Чемберлен О. 199
Черенков П. А. 200, 201
Чэдвик Д. 27, 197
Шаванн де Пюви 90
Шварц Бертольд 43
Шекспир В. 121
Шилов Н. 30
Шоу Бернард 91, 191
Шредингер Аннамари 9, 12, 124, 161
Шредингер Эрвин 9, 23, 118, 122—124, 129, 133, 134—137, 140, 141, 144, 145, 148—152, 154, 156, 161—164, 182, 186, 202
Штарк И. 56
Штерн О. 96
Шуберт Ф. 70
Шульц Бетти 7, 194
Эддингтон А. 26
Эйнштейн Альберт 9, 22, 30, 35, 38, 44—52, 54—56, 58, 61, 62, 65, 67, 76, 80, 84—86, 91, 96, 99—105, 111, 118—120, 123, 126—132, 136, 143, 153, 154, 156, 160, 170, 186—192, 196, 202
Эльзассер В. 152
Эренфест П. С. 130—132, 186, 191
Юкава Хидеки 12

ЛИТЕРАТУРА

Нильс Бор. Атомная физика и человеческое познание. М., Изд-во иностранной лит-ры, 1961.

Макс Борн. Физика в жизни моего поколения. М., Изд-во иностранной лит-ры, 1963.

Макс Борн. Моя жизнь и взгляды. М., «Прогресс», 1973.

Луиде Бройль. По тропам науки. М., Изд-во иностранной лит-ры, 1962.

А. Ф. Иоффе. Встречи с физиками. М., Физматгиз, 1960.

Виктор Вайскопф. Наука и удивительное. М., «Наука», 1965.

Д. Данин. Неизбежность странного мира. Изд. 3-е. М., «Молодая гвардия», 1966.

Резерфорд — ученый и учитель. Сб. М., «Наука», 1973.

А. Эйнштейн. Физика и реальность. М., «Наука», 1965.

О Г Л А В Л Е Н И Е

Глава вступительная АРХИВ НЕЗАБЫВАЕМОГО ВРЕМЕНИ	5
Глава первая ДВА СТАРТА	18
Глава вторая ЕЩЕ ДВА СТАРТА	40
Глава третья ВСТРЕЧА ИДЕЙ	65
Глава четвертая ДОРОГА ВО ТЬМЕ	90
Глава пятая ИДЕИ И СТРАСТИ	116
Глава шестая ПУТЬ К ВЕРШИНЕ	147
Глава заключительная КОНЦА НЕ БУДЕТ	186
Именной указатель	204
Литература	207

Даниил Семенович ДАНИН
ВЕРОЯТНОСТНЫЙ МИР

Главный отраслевой редактор *В. Демьянов*
Редактор *Н. Яснопольский*.
Мл. редактор *М. Вержбицкая*.
Худож. редактор *М. Бабичева*.
Художник *Б. Жутовский*.
Техн. редактор *А. Красавина*.
Корректор *Н. Мелешкина*.

ИБ № 2501

Сдано в набор 25.05.80 г. Подписано к печати 20.10.80 г. А 04103.
Формат бумаги 84×108^{1/32}. Бумага № 1. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 10,92. Уч.-изд. л. 11,37. Тираж 100 000. Заказ № 1028. Цена 75 коп. Издательство «Знание», 101835, ГСП, Москва, Центр, проезд Серова, д.4. Индекс заказа 817701.
Киевская книжная фабрика республиканского производственного объединения «Полиграфкнига» Госкомиздата УССР, Киев, ул. Воровского, 24.

