

ЛОГИКА И МЕТОДОЛОГИЯ НАУКИ

Дж. Холтон
ТЕМАТИЧЕСКИЙ
АНАЛИЗ
НАУКИ

Логика и методология науки



Логика и методология науки

Дж. Холтон
ТЕМАТИЧЕСКИЙ
АНАЛИЗ
НАУКИ

Перевод с английского

Общая редакция и послесловие
члена-корреспондента АН СССР С. Р. МИКУЛИНСКОГО

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПРОГРЕСС»
Москва 1981

Составитель кандидат философских наук *А. Е. Левин*

Переводчики:

Кандидат физико-математических наук *А. Л. Великович* (гл. VI), кандидат физико-математических наук *В. С. Курсанов* (гл. II, III и IV), кандидат философских наук *А. Е. Левин* (Введение, гл. I, V и VII)

Редакция литературы
по философии и педагогике

© Составление, перевод на русский язык и послесловие
«Прогресс», 1981

X $\frac{10501-290}{006(01)-81}$ 16—81

0301000000

Современная научно-техническая революция сильно стимулировала исследование проблем развития науки, изучение логики и методологии науки, научного творчества, исследования в области философии и истории науки. В издательстве «Прогресс» уже вышел ряд книг, посвященных этим проблемам. Среди них можно выделить получившие высокую оценку научной общественности книги серии «Логика и методология науки»: Т. Кун «Структура научных революций», «Коммуникации в современной науке», «Структура и развитие науки». В этой же серии выходит и предлагаемый советским читателям сборник работ Джеральда Холтона «Тематический анализ науки».

Автор — известный специалист по истории и методологии науки, профессор физики и истории науки Гарвардского университета (США).

Исследования Дж. Холтона — заметное явление среди работ антипозитивистского направления в англо-американской философии науки. Формально-лингвистическому редукционизму позитивизма он противопоставляет содержательный анализ сущности и развития познания. Разработанное Дж. Холтоном направление исследования науки, которое он называет тематическим анализом, безусловно, представляет значительный интерес как для ученых-естественников, так и для философов и историков науки.

Внимание советских читателей привлечет также позиция автора, признающего, с одной стороны, социальную обусловленность науки, а с другой — практическую значимость исследований в области философии и истории науки для общекультурного развития общества.

Конечно, все аспекты научных интересов Дж. Холтона не могли быть полностью отражены в настоящем издании, целью которого было прежде всего с достаточной полнотой представить советскому читателю основное теоретическое достижение Холтона — концепцию тематического анализа науки. Поэтому для сборника отобраны основные работы Холтона, в которых эта концепция описывается в общем виде или применяется для анализа конкретных историко-научных ситуаций. Поскольку Дж. Холтон много лет занимается изучением научного творчества Альберта Эйнштейна, являясь одним из наиболее авторитетных спе-

циалистов в этой области историографии пауки, в число отобранных для сборника статей, содержащих приложения тематического анализа науки, были включены две «эйнштейновские» работы, которые, несомненно, представят для нашего читателя большой интерес. Эти статьи удачно дополняются работами Холтона о Кеплере, Нильсе Боре и об истории определения заряда электрона, также развивающими метод тематического анализа.

Обстоятельный разбор проблематики книги, оценка ее научных достоинств даются в послесловии к книге, написанном членом-корреспондентом АН СССР С. Р. Микулинским.

I

Цель этой книги состоит прежде всего в том, чтобы расширить арсенал понятий и методов, способных улучшить наше понимание творческого воображения ученых, проявляющегося в их научной деятельности. Почти все главы книги, за исключением четвертой, взяты из двух моих недавних сборников*¹, где они были опубликованы в качестве отдельных статей. В целом мой подход, положенный в основу как этих сборников, так и настоящей книги, может быть охарактеризован следующими четырьмя аспектами.

Во-первых, я пытаюсь произвести тщательный анализ той фазы работы ученого, в которой происходит зарождение новых идей, объединяя при этом изучение публикуемых им результатов с непосредственными свидетельствами, зафиксированными в различных документах (таких, как письма, интервью, дневники, лабораторные журналы и т. п.). В исследованиях такого рода может открыться много неожиданного. Так, документы, с которыми мне пришлось работать в связи с изучением творчества Эйнштейна, вынудили меня пересмотреть роль опыта Майкельсона по отношению к первоначальной эйнштейновской формулировке теории относительности. Если вначале предполагалось, что этот эксперимент был одним из важнейших стимулов к созданию эйнштейновской теории, то теперь обнаружилось, что его роль была лишь косвенной и не слишком значительной в противоположность традиционным объяснениям и описаниям последовательностей событий, дающихся практически во всех физических тек-

* Здесь и далее примечания автора и библиография даются под соответствующей нумерацией в конце каждой главы.

стах, затрагивающих данную проблему. Именно в деталях документированных данных о тех или иных конкретных событиях, в тонкой структуре этих деталей можно надеяться обнаружить необходимый материал для создания и проверки теории творческого воображения в науке, даже если такая задача и не получит быстрого или легкого решения.

Во-вторых, я стараюсь рассматривать любой результат научной деятельности, опубликованный или неопубликованный, в качестве некоторого «события», расположенного на пересечении тех или иных исторических «траекторий» — таких, как по преимуществу индивидуальные и осуществляющиеся наедине с самим собой личные усилия ученого; «публичное» научное знание, разделяемое членами того сообщества, в которое входит этот ученый; совокупность социологических факторов, влияющих на развитие науки, и, несомненно, общий культурный контекст данного времени, значение которого открывается, например, когда мы обнаруживаем, чем обязан был Нильс Бор некоторым философским и литературным произведениям.

В-третьих, в моих исследованиях особое внимание уделяется тому, чтобы установить, в какой мере творческое воображение ученого может в определенные решающие моменты его деятельности направляться его личной, возможно, даже неявной приверженностью к некоторой определенной теме (или нескольким таким темам). Верность подобным глубинным установкам может как способствовать исследованиям, так и тормозить их; как однажды Эйнштейн писал де Ситтеру: «Убежденность — это хороший двигатель, но плохой регулятор». Тематическую структуру научной деятельности можно считать в основном независимой от эмпирического или аналитического содержания исследований; она проявляется в процессе изучения тех возможностей выбора, которые были в принципе открыты ученому. Эта структура может играть главную роль в стимулировании научных прозрений, в их принятии или в возникновении споров и разногласий по отношению к ним.

Остается еще один аспект, последний по порядку, но не по значению: я стараюсь рассматривать также и практические последствия полученных результатов для развития исследований в области философии и истории науки, для

лучшего понимания того места, которое наука занимает в нашей культуре, для общеобразовательных программ.

II

Из этих четырех взаимосвязанных направлений, определяющих сферу основных интересов данной книги, тематический анализ имеет, вероятно, наибольшее право претендовать на научную новизну, хотя он еще и далек от завершения. Если судить по опубликованным оценкам и комментариям², можно выделить несколько причин, объясняющих то внимание, которое привлекает сегодня этот метод исследований.

1. Тематический анализ дает возможность находить в развитии науки определенные черты постоянства или непрерывности, некоторые относительно устойчивые структуры, которые воспроизводятся даже в изменениях, считающихся революционными, и которые подчас объединяют внешне несоизмеримые и конфликтующие друг с другом теории. Кроме того, именно сейчас, когда ощущается реакция против той философии, которая видит в науке надисторический и не связанный никакими культурными рамками метод исследований, для некоторых ученых оказывается привлекательным открытие того факта, что важнейшую особенность работы многих крупнейших творцов науки составляло принятие ими небольшого количества тех или иных тем и что споры между ними зачастую включали противостоящие друг другу темы, объединенные в диады или триплеты, — такие, как атомизм и непрерывность, простота и сложность, анализ и синтез, неизменность, эволюция и катастрофические изменения. Подобные результаты помогают объяснить формирование традиций или школ и характер протекания научных дискуссий.

2. Хотя практически во всех своих работах я анализировал события, взятые из истории физических наук, некоторые результаты могут найти приложение и в других науках. То, что эта возможность реализуется на практике, подтверждается некоторыми современными исследованиями по истории биологии³ и биохимии, работами по физике⁴, социологии, литературоведению⁵ и психологии⁶

3. Техника, аналогичная той, которую я применял при тематическом анализе науки, уже использовалась гораздо раньше в некоторых других областях, скажем в контент-анализе, лингвистическом анализе и культурной антропологии. Представляется поэтому, что работа по выявлению и классификации тематических структур может привести к открытию каких-то глубинных черт сродства между естественным и гуманитарным мышлением. Так, приводимая ниже красноречивая выдержка из книги Гарри Вольфсона, где говорится о целях изучения работы философа, проясняет также и цели изучения работы учебного предлагаемыми здесь способами.

«Ни один философ, — пишет Вольфсон, — никогда не описал полностью того, что было в его голове. Одни из них рассказали нам об этом только частично, другие скрыли свои мысли под вуалью тех или иных искусственных литературных форм, а некоторые создавали свои философские труды, подобно птицам, поющим свои песни, не осознавая, что они повторяют очень древние мелодии. Слова по самой своей природе скрывают человеческую мысль в той же степени, в какой они открывают ее; и те слова, которые высказываются философами, в лучшем случае оказываются не чем иным, как только бакенами на поверхности воды, подающими сигналы о присутствии каких-то глубоко погруженных, невысказанных мыслей. Поэтому важной целью как исторических исследований, так и самой философии является обнаружение этих не переданных в словах мыслей, реконструкция скрытых процессов мышления, которые всегда прячутся за высказанными словами, и попытка определения истинного смысла сказанного на основе воспроизведения истории того, как именно это было сказано и почему это было сказано так, а не иначе»⁷.

4. Изучение глубинных предубеждений, на которых основывается деятельность ученых, связывает анализ науки с рядом других современных областей исследований, включая исследования человеческого восприятия и познания, процессов обучения, мотивации и даже выбора профессии. Более того, можно надеяться, что достижение лучшего понимания характера той рациональности, которая проявляется в деятельности ученых, — понимания, учитывающего все ее противоречивые компоненты, включая существование как предубеждений, так и объективных

исследовательских техник, — поможет преодолеть многие нелепые и опасные взгляды на науку, характерные для некоторых распространенных представлений о ней. Для нас сейчас начался период, когда число налагаемых извне на научные исследования ограничений постоянно увеличивается, и ученые чувствовали бы себя гораздо лучше, если бы они были уверены в том, что условия, при которых возможен расцвет научной оригинальности, уже изучаются, более широко понимаются и охраняются.

III

Глубокая привязанность некоторых ученых к определенным всеобъемлющим темам с успехом может служить в качестве одного из главных источников той энергии, которая направляет их усилия, ведущие к созданию нового знания; эта привязанность дополняет чисто инструменталистские или утилитарные стимулы в науке. Не признавая этого, как мне кажется, трудно понять один из ключевых аспектов деятельности ученых в самых различных науках, а именно то, что эта деятельность вновь и вновь рассматривается не просто как одна из наиболее успешных разновидностей обычного и прозаического труда, а скорее как воплощение каких-то харизматических устремлений человеческого духа.

Чтобы подчеркнуть этот подчас не берущийся в расчет момент и хотя бы на минуту акцептировать на нем внимание, достаточно взглянуть на книгу Коперника «Об обращениях небесных сфер» — одну из работ, стоящих у самых истоков современной науки. Как любой хороший астроном, Коперник основывался, конечно, на наблюдениях и вычислениях, и его труды значительно способствовали техническому прогрессу математической астрономии. Но для того чтобы понять, почему он написал такую прославившую его имя работу, или чтобы объяснить влияние этой работы, надо взглянуть гораздо глубже. Природа в глазах Коперника была божьим храмом, и именно в ее изучении видел он человеческий путь к прямому проникновению в суть бытия и замыслов его создателя. Эта идея была и смелой, и опасной, и отнюдь не маловажно то, что, когда книга Коперника была внесена в список трудов, подлежащих исправлению, именно эта мысль оказалась одной из относительно небольшого числа тех, исключение

которых было объявлено обязательным: ведь как Копернику, так и его противникам было ясно, что при достаточном расширении целей науки такая идея, чего доброго, может вступить в противоборство с претензиями всех прочих систем, объясняющих окружающую человека реальность.

Читая книгу «Об обращениях небесных сфер», мы уже с первой фразы чувствуем источник той энергии, которую несет в себе любая крупная научная идея. Здесь нет ничего похожего на педантичное складывание кусочков головоломки. Точно так же этот труд не является лишь просто лучшим по сравнению со всеми прочими образцом астрометрического исследования и его практических приложений, таких, как поправки к календарю, какими бы важными ни были эти аспекты его содержания. Открытие Коперника нужно измерять иным масштабом — тем, на котором откладываются этапы расширения человеческого сознания, сдвиги в процессе культурной эволюции, — и именно так оно было воспринято теми, кто сделался сторонником коперниканских идей.

В работе Коперника доминируют две основные темы, и, как мне кажется, именно создаваемая ими взаимообусловленность теории и данных наблюдения объясняет квазиэстетическое убеждение его сторонников в обязательной истинности его системы, — это темы простоты и необходимости. Они появляются с той железной закономерностью, которая с тех пор стала фундаментом всей науки. В своей книге Коперник с гордостью пишет, что созданная им для планетной системы гелиоцентрическая схема такова, что «не только все наблюдаемые явления вытекают из нее, но также порядок и размеры всех планет, сфер и всего мироздания оказываются связанными друг с другом столь тесно, что не существует способа сдвинуть какую-то часть системы без возмущения всех остальных частей вселенной как целого».

Сила этого решения именно в том, что в его основе лежали столь жесткие ограничения. Здесь нет ничего произвольного, здесь просто не остается места даже для мельчайших поправочных изменений любой орбиты, что было вполне возможным в докоперниканской астрономии. Система Коперника в своей целостности демонстрировала исключительную рациональность, ту необходимость, которая связывает каждую отдельную деталь с общей струк-

турой. Поэтому она укрепляет нашу убежденность в понимании того, почему планеты расположены именно так, как они расположены, а не иначе. В этой связи можно вспомнить замечание Эйнштейна своему ассистенту Эрнсту Штраусу: «Что меня действительно интересует, так это то, мог ли бы бог создать мир по-другому, т. е. оставляет ли необходимость логической простоты место для какой-нибудь свободы?»

Подобную терминологию и позицию, которая стоит за ней, не часто встретишь у современных ученых — у большинства из них она скорее вызвала бы замешательство. На это есть вполне серьезные социологические, психологические и даже политические причины, в силу которых обычный перечень мотиваций научной работы выглядел бы, вероятнее всего, как акцентирующий бэконовский аспект наследия новейшей науки: открытие новых лекарств, усовершенствование машин, усиление национальной безопасности или даже просто создание сносных условий для земной жизни человека. Но хотя бэконовский этос и сделался теперь необходимой частью всей научной и инженерной деятельности, его, однако, было бы недостаточно для существования науки, и сам по себе он еще не помогает нам в понимании природы великих открытий.

По-видимому, никто не стал бы утверждать, что в тексты наших нынешних научных работ нужно включать выражения личной убежденности, подобные тем, на которые я ссылался. Однако эта космологическая традиция жива и поныне в виде некоего спокойного подземного течения. Ее проявления не всегда легко распознать, но та удовлетворенность, которую приносят с собой темы простоты и необходимости, рассматриваемые в качестве гарантов проникновения к наиболее глубоким истинам, все еще относится к числу наиболее ценимых⁸. Как сказал Стивен Вайнберг при получении Мемориальной премии Роберта Опенгеймера: «Причина, по которой я придерживаюсь столь оптимистического взгляда на наше сегодняшнее положение, кроется в том, что теория относительности и квантовая механика, взятые вместе, но без каких бы то ни было дополнительных допущений, оказываются ограничительными принципами исключительной силы. А одна лишь квантовая механика, не объединенная с относительностью, позволяла бы нам предполагать великое

множество возможных физических систем. Откройте любой учебник по нерелятивистской квантовой механике, и вы найдете огромное разнообразие искусственных примеров — таких, как частицы в ящиках с непроницаемыми стенками, частицы, расположенные вдоль одномерных струн, и т. п.; все эти объекты в реальности не существуют, но они вполне совместимы с принципами квантовой механики. Однако, когда вы объединяете квантовую механику с релятивизмом, вы обнаруживаете, что у вас вообще почти не остается возможностей, чтобы представить себе какие-нибудь допустимые физические системы. Природа каким-то образом ухитрилась быть одновременно и релятивистской и квантово-механической; но в совокупности эти условия настолько ограничительны, что они мало оставляют ей вариантов выбора того, какой она могла бы быть; паша надежда как раз и связана с тем, что таких вариантов очень мало»⁹.

Со времен Коперника привлекательность систем, обладающих такими качествами, понимали все ученые. И хотя любые индивидуальные попытки этого рода остаются делом интеллектуального и профессионального риска — ибо тематические выборы сами по себе не допускают ни проверок, ни опровержений, — однако никакой иной, менее космологический подход не обещает привести к истине, особенно к такой, которая действительно возбуждала бы человеческое воображение, а ведь именно это исторически способствовало приобретению научной деятельностью ее интеллектуального мандата.

IV

Отмечая эти аспекты применения тематического подхода, я отнюдь не хочу создать впечатление, что важны только они. Напротив, этот подход уже использовался и, надеюсь, будет еще использоваться учеными самых различных взглядов и интересов. Более того, человек, проявляющий внимание к тематическому анализу, отнюдь не должен тем самым нацеплять на себя какой-то ярлык (и, безусловно, не должен считать себя в силу этого ни «позитивистом», ни «антипозитивистом»). Точно так же он не оказывается из-за этого перед необходимостью сделать выбор в пользу одной из сторон в тех битвах, которые сегодня преобладают в некоторых направлениях истории

и философии науки, тем более что многие из воздвигнутых здесь баррикад порождены тематически противоположными взглядами на историю или философию науки и имеют мало общего с реальной работой ученых, как она открывается нам в архивных материалах, устных воспоминаниях и, конечно, в конкретных формах участия в научной деятельности.

На данной стадии исследований поиски моделей научного воображения по необходимости должны быть прежде всего индуктивными и эмпирическими. В основу таких поисков нужно положить упорное стремление к исторической точности и тщательный анализ доступных данных. Но здесь необходима также и свобода воображения, ведущая к созданию новых концептуальных средств, с которыми можно было бы идти на приступ таких сверхзащищенных тайн, как те, которые как бы упрятаны в мышлении ученых, работающих над решением своих проблем. Привлечение одной из разновидностей этнологического подхода для изучения научной деятельности кажется мне стратегически предпочтительным по сравнению с подсчетом и формальным структурированием научных достижений. Поскольку мы еще только начали складывать вместе главные элементы будущих теорий научного воображения, нужно держаться подальше от любых схем, заранее обещающих полную уверенность.

Здесь уместно вспомнить одну историю, рассказанную архитектором Ле Корбюзье¹⁰. После того как он изобрел «модульор», т. е. систему измерений, позволяющих фиксировать характерные размеры архитектурного пространства, городских строений и скульптурных элементов, Корбюзье, горячо веря в эффективность и необходимость своего метода, стал его усиленно пропагандировать. Он даже приезжал в Принстон, чтобы убедить в этом Эйнштейна. Однако вместо желанного одобрения он получил гораздо более скромную и более адекватную оценку: Эйнштейн сказал ему, что данная схема не вызывала бы ни малейших возражений, если бы только она затрудняла получение плохих результатов и облегчала получение хороших.

БЛАГОДАРНОСТИ

В дополнение к лицам и институтам, признательность которым выражена на последующих страницах, я хочу специально поблагодарить Национальный научный фонд

США за полученную от него субсидию на исследования в области истории и философии науки, а также отметить ту великодушную помощь, которую я получил от Архива Альберта Эйнштейна в Принстоне (где мне было разрешено изучать неопубликованные письма и рукописи из эйнштейновского наследия). Хотелось бы подчеркнуть свою признательность Центру по истории физики американского Института физики в Нью-Йорке, Архиву американского Философского общества в Филадельфии, Архиву Роберта А. Милликена в Калифорнийском технологическом институте, Архиву Эрнста Маха во Фрейбурге, архивам римской Академии деи Линчеи и флорентийского Дома Галилея.

Из тех, чей технический опыт помог мне преодолеть огромное расстояние между идеей и печатным словом, я хочу поблагодарить Джоан Лоуз за ее многолетнее терпеливое содействие и Марсель Шотковски Ла Фойетт за помощь при редактировании.

В основе глав этой книги лежат статьи, опубликованные мною в таких журналах, как «Science», «Historical Studies in the Physical Sciences», «Daedalus», «Minerva», «American Journal of Physics» и «American Scholar». С удовольствием выражаю здесь мою признательность также этим изданиям и их редакторам.

Наконец, уместно добавить, что настоящее введение было написано специально для русского издания. Мне приятно, что благодаря этому изданию мои работы станут доступны широким кругам читателей, владеющих русским языком. Я благодарен директору Института истории естествознания и техники Академии наук СССР профессору С. Р. Микулинскому за предложение опубликовать эту книгу на русском языке. Я также хотел бы поблагодарить А. Л. Великовича, В. С. Кирсанова, А. Е. Левина за вдумчивый и высококвалифицированный перевод.

1. Holton G. Thematic Origins of Scientific Thought: Kepler to Einstein. Cambridge, Massachusetts, Harvard University Press, 1973; Holton G. The Scientific Imagination: Case Studies. Cambridge, Cambridge University Press, 1978.

2. К числу наиболее развернутых относятся: Toulmin S. Science and Scientists: The Problem of Objectivity.—In: "Minerva", 12, № 4, 1974, p. 522—529; Merton R. K. Thematic Analysis in Science: Notes on Holton's Concept.—In: "Science", 188, 1975, p. 335—338.

3. Так, Эрнст Майр в своей статье «Природа дарвиновской революции» ("The Nature of the Darwinian Revolution".—In: "Science", 176, 1972, p. 981—989) отмечает, что на ранней стадии споров о теории эволюции логичные и согласованные аргументы в пользу эволюции были развиты человеком, не являющимся ученым, тогда как известные «профессиональные» ученые не смогли этого сделать из-за того, что «убедительность [их] аргументов полностью основывалась на [заранее предполагавшейся] правильности молчаливых допущений» (p. 982). (В русском переводе эта работа опубликована в сборнике «Из истории биологии». Выпуск 5. М., «Наука», 1975, с. 3—25. — *Ред.*)

4. См., например: Fruton J. S. The Emergence of Biochemistry.—In: "Science", 192, 1976, p. 327—332. Автор напоминает о дебатах между сторонниками биологического редукционизма и холизма. В качестве примера явного использования понятия темы в современном физическом исследовании см.: Misner Ch. W. Harmonic Maps as Models for Physical Theories.—In: "Physical Review" D, 18, № 12 (1978), p. 4510—4524.

5. Этот подход обсуждается, например, в работе: Nesbit R. Social Science as an Art Form (Oxford University Press, 1976). Наш тематический анализ специально приспособлен для целей литературной критики в: Janger D. The Creation of Nikolai Gogol. Cambridge, Massachusetts, Harvard University Press, 1979, p. 239—256, 292.

6. Примером тому служат современные споры между сторонниками «статистических» и «клинических» прогнозов.

7. Wolfson H. A. Philo, Foundations of Religious Philosophy in Judaism, Christianity, and Islam. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1947, v. 1, p. 106—107.

8. Конечно, здесь остается немало места для индивидуальных разногласий по поводу того, в чем состоят «простота» или «ограниченность» теории. Так, в 1914 г. Эйнштейн и Планк весьма бурно спорили о том, следует ли считать простейшей формой физического описания ту, которая вводит в качестве исходного понятия концепцию *ускоренного* (к чему пришел Эйнштейн) движения, или же предпочтение должно быть отдано *равномерному* движению (за чем настаивал Планк).

9. Weinberg S. Where We Are Now.—In: “Science”, **180**, 1973, p. 276—278.

10. LeCorbusier. The Modulor. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1954, p. 58.

Историк науки, философ, социолог или психолог, изучающий итоги научной работы, будь то опубликованная статья, запись в лабораторном журнале, стенограмма интервью либо обмен письмами, обычно имеет дело прежде всего с каким-то *событием*¹. Можно выделить не менее восьми различных аспектов подобных событий, каждый из которых будет соответствовать специфическому типу нетривиальных в исследовательском плане проблем.

Прежде всего, конечно, встает вопрос о понимании научного содержания события, как оно складывается в определенное время — и в интерпретации современников, и, само собой, в терминах наших сегодняшних представлений. Что было спорного в утверждениях ученого? Какие препятствия реально вставали на его пути? Чтобы разобраться в этих вопросах, мы и пытаемся воспроизвести его осознание так называемых научных фактов, данных, законов, теорий, технических средств и сопутствующих сведений, причем именно в контексте обобщественного научного знания того времени. К этому пункту я склонен причислить большую часть исторических изысканий, относящихся к тому, что принято называть научным мировоззрением, образцами научной деятельности и исследовательскими программами. Однако историки и ученые все еще заинтересованы по преимуществу в том, чтобы выявить идеи и допущения, связанные с изучаемыми событиями, и перевести их на эмпирический и аналитический языки.

* Holton G. The Scientific Imagination: Case Studies. Cambridge, Cambridge University Press, 1978, p. 3—24, 300—302.

Во-вторых, существует проблема временной траектории того состояния научного знания, которое разделяется учеными (т. е. «обобществленный», «публично выраженный», а не «частный» характер); эта траектория ведет к периоду, в который мы помещаем событие, и, возможно, уходит за его границы. Определение такой траектории означает, если угодно, прочерчивание Мировой Линии идеи или предмета исследований, пересекающей точку *E* данного события. Изучаем ли мы эволюцию проблемы падения тел в период от Кеплера до Ньютона или расцвет квантовой электродинамики от работ Фейнмана до последнего выпуска журнала «Physical Review Letters», в этом пункте мы имеем дело с предшественниками, направлениями параллельного развития, непрерывностями и разрывами и т. п. Такое прослеживание концептуальной эволюции и «контекста оправдания» является наиболее распространенной и интенсивно осуществляемой деятельностью историков науки и ее исторически мыслящих пропагандистов.

Третий аспект относится к изучению более уникальных индивидуальных черт той деятельности, в которую погружено событие *E*. Здесь мы переходим к контексту открытия, пытаясь понять «момент рождения», который может быть далеко не достаточно документированным и отнюдь не обязательно осознаваемым или понимаемым даже самим действующим лицом. За исключением исследования деятельности очень немногих исторических фигур, таких, например, как Кеплер или Эйнштейн, ученые (и философы) до недавнего времени не проявляли особой любви к подобным изысканиям. Одна из функций самих социальных институтов науки — таких, как механизмы публикаций, научные встречи, отбор и подготовка молодых ученых, — как раз и состоит в том, чтобы свести к минимуму внимание к этой стороне дела. По-видимому, и успехи науки как коллективной деятельности связаны именно с систематическим пренебрежением тем, что Эйнштейн называл «личными усилиями». Более того, очевидное противоречие между зачастую «алогичной» природой научного открытия, как оно происходит в действительности, и логичностью хорошо разработанных физических понятий воспринимается подчас как угроза самим основаниям и науке, и даже рациональности.

Альтернативный путь нелегок. Эйнштейн в одном из своих интервью старался побудить историков науки сосре-

доточиться на понимании того, чего хотели ученые, «как они размышляли и как сражались со своими проблемами». Но он отмечал, что для этого исследователь должен обладать даром глубокого проникновения в существо предмета, покоящейся на знаниях восприимчивостью как к содержанию науки, так и к процессам научных исследований, ибо надежных фактических данных о творческой фазе обычно не хватает; кроме того, решение исторических, как, впрочем, и физических, проблем может быть достигнуто отнюдь не прямым путем, так что в лучшем случае стоит надеяться не на достоверность результата, а лишь на хорошую «вероятность» того, что он окажется «в чем-то справедлив»².

Четвертой компонентой исторических исследований является установление временной траектории именно этой, по преимуществу «частной», научной деятельности — непрерывности и разрывов в индивидуальном развитии ученого или науки в процессе ее создания, как она воспринимается им через призму его индивидуальных усилий. Теперь уже событие E в момент времени t предстает как точка пересечения двух траекторий, двух Мировых Линий, одна из которых прочерчивается для «публичной науки» (назовем ее S_2), а другая — для «частной» (S_1), если использовать полезную, когда ею не злоупотребляют, терминологию сокращенной записи³.

В-пятых, возникает целая историческая полоса, параллельная траектории S_1 и заканчивающаяся на ней как на одной из своих границ, которая выделяет всю психобиографическую эволюцию человека, чьи работы сейчас изучаются. Здесь перед нами разворачивается новая и интригующая воображение область исследований взаимосвязей между научной работой индивида и его частным образом жизни.

Шестым аспектом неизбежно станет изучение социологической обстановки, условий или влияний, порождаемых коллегальными связями, динамики групповой работы, состояния профессионализации в данное время, институциональных механизмов финансирования, оценки и принятия исследований, включая и количественные тенденции в данной сфере. Здесь мы вступаем в область анализа научной политики и социологии науки в узком смысле этого термина.

В-седьмых, появляется еще одна полоса, параллельная

траекториям S_1 и S_2 и переходящая в них; здесь выделяются те аспекты культурной эволюции за пределами науки, которые влияют на нее или испытывают ее влияние, в связи с чем возникают проблемы обратных связей, соединяющих между собой науку, общество и технологию, науку и этику, науку и литературу.

Наконец, существует и логический анализ изучаемых научных работ. Будучи сначала учеником, а позднее коллегой Перси Бриджмена и Филиппа Франка, я в своем собственном развитии прежде всего прошел через фазу глубокого интереса и уважения к плодотворному анализу логики науки, которая предшествовала работе в области анализа ее собственно исторических аспектов.

Эти восемь областей исследований отнюдь не разделены какими-то непреодолимыми барьерами. Конечно, каждая область требует собственной специализации, а потому и своего операционального самовычленения. Для любой из них нетрудно сразу же назвать имена их героев и очертить их перспективы. Однако сегодня мы все могли бы согласиться, хотя и с той или иной степенью сожаления, что решение настоящих проблем истории науки (со всеми ее противоречиями и междисциплинарными связями), ограничиваемое отделенными друг от друга компонентами, было бы в конце концов редуccionистской стратегией, на которую нас толкали бы или обрекали пределы человеческих возможностей.

НА ПУТИ К ТЕМАТИЧЕСКОМУ АНАЛИЗУ

Обращение со сложными объектами, основанное на их расчленении или редукции к более простым сущностям, очень рано нашло свое использование в науке — вспомним хотя бы о том месте во *Втором дне галилеевских «Диалогов»*, где Сальвиати и Симпличио обсуждают движение предмета, сброшенного с мачты плывущего корабля. Симпличио возражает на предложение Сальвиати разложить движение на вертикальную и горизонтальную компоненты, первая из которых соответствовала бы свободному падению к центру Земли, а вторая — движению с постоянной скоростью в первоначальном направлении. Возможно, сопротивление Симпличио следует отнести за счет предчувствия, что весь метод разложения и редукции и ненадежен, и не более необходим, чем любая другая

методологическая тема, — иначе говоря, что он ни верифицируем, ни фальсифицируем, а его полезность полностью зависит от нашей удовлетворенности его результатами.

Как мы теперь знаем, Сальвиати тогда впал в сильное преувеличение: разложение движения падающего тела на две компоненты есть лишь первое звено бесконечной в своей основе цепочки аналитических операций, или расчленений, ведущей к пониманию движения и его причин. Нуждаясь в более детальном знании движения, мы должны привлекать и другие законы. За отклонение тела в восточном направлении ответственна кориолисова сила. Чтобы вычислить эффекты трения и турбулентности, надо учесть законы падения в реальной среде при различных числах Рейнольдса. Чем больше деталей нас интересует, тем больше приходится проводить расчленений. Этот процесс мог бы привести к регрессу в бесконечность, если бы в нашем столетии не изобрели «бритву Оккама» для отбрасывания всех побочных эффектов, лежащих за определенными границами. Квантовая физика с ее конечностью постоянной Планка и принципом неопределенности создала возможность остановки, сделав все последующие вопросы бессмысленными.

Из этого примера можно извлечь и другой урок. Хотя обе компоненты движения, предложенные Сальвиати, выглядели вполне убедительно и впоследствии даже оказались полезными, их необходимость не могла быть доказана с большей степенью уверенности, чем необходимость любого мыслимого набора из двух или более подобных компонент. Я упоминаю об этом, чтобы подчеркнуть, что и мой перечень компонент историко-научных исследований не стоит считать описанием какого-то священного и неизменного Восьмеричного Пути*. Напротив, он был перечислен отчасти ради демонстрации своей неполноты в том или ином существенном отношении. Другими словами, еще остается ряд неизбежных (для меня, во всяком случае) вопросов, неразрешимых сколько-нибудь естественно в рамках восьмеричной схемы, которые раскрывают мало изучавшиеся до сих пор связи между естественными и гуманитарными исследованиями.

* Имеется в виду известный буддистский символ, в свое время метафорически использованный М. Гелл-Манном в теории элементарных частиц. — *Прим. перев.*

Любой перечень подобных вопросов должен включать следующие пункты: Что является постоянным в непрерывно изменяющейся теории и практике науки, которое делает ее продолжающимся предприятием, несмотря на легко заметные радикальные изменения в деталях и фокусах научных интересов? Какие элементы сохраняют свою ценность после отказа от включавших их теорий и надолго ли? В чем источники энергии, десятилетиями поддерживающей некоторые научные споры? Почему ученые, а вследствие этого также историки, философы и социологи науки зачастую с успехом выдвигают совершенно различные модели для объяснения одних и тех же данных? И почему некоторые ученые, несмотря на большой риск, иногда продолжают придерживаться каких-то объяснительных моделей или «священных» принципов, противоречащих поступающим экспериментальным данным?

Почему ученые нередко в глубине души не признают дихотомии между контекстами верификации и открытия, принимая ее в то же время публично? Если и в самом деле, как считал Эйнштейн⁴, процесс чисто дедуктивного конструирования законов лежит «далеко за пределами способностей человеческого мышления», то что же может направлять прыжок через пропасть, разделяющую опыт и фундаментальные принципы? Что скрывается за квазиэстетическими по внешности выборами, которые делают некоторые ученые, например отвергая как «ad hoc»-гипотезу то, что для других ученых может выглядеть как неоспоримое учение? Ограничены ли основания подобных выборов лишь научным воображением или они выходят за его рамки?

Чтобы работать с такими проблемами, я предложил *девятую* компоненту анализа научной деятельности, а именно *тематический анализ* (термин, известный благодаря его использованию в антропологии, искусствоведении, теории музыки и ряде других областей). Во многих (возможно, в большинстве) прошлых и настоящих понятиях, методах, утверждениях и гипотезах науки имеются элементы, которые функционируют в качестве тем, ограничивающих или мотивирующих индивидуальные действия, а иногда направляющих (нормализующих) или поляризующих научные сообщества. Обычно они не находят явного выражения ни в предлагаемых самими учеными публичных представлениях их работ, ни в любых после-

дующих научных спорах. Тематические понятия, как правило, не фигурируют в алфавитных указателях учебников и не входят в число терминов, которые в изобилии встречаются в профессиональных журналах или дискуссиях. Все эти традиционные обсуждения ограничены главным образом эмпирическим и аналитическим содержанием, т. е. воспроизводимыми явлениями и логико-математическими конструкциями. Используя довольно грубую аналогию, я предложил рассматривать элементы этих двух типов в качестве x - и y -координат на той плоскости, в которой проходит большинство дискуссий, ибо «осмысленность» всех конструкций проверяется здесь посредством разложения понятий или утверждений на подобные элементы, критерием «осмысленности» которых считается то, что обычно существуют общепринятые правила, пригодные для верификации или фальсификации высказываний, сделанных в этом языке.

Так, например, в VI главе мы увидим, что в знаменитом эксперименте Р. А. Милликена с масляными каплями в принципе можно было быстро решить проблему того, являются ли электрические заряды крошечных капелек кратными некоторой фундаментальной константе, называемой зарядом электрона (для этого следовало лишь свести ее к результатам наблюдений частицы через телескоп или ультрамикроскоп, выяснив одновременно характер экстраполяции поправочного члена в уравнении закона Стокса, описывающего падение небольших тел). Если бы все дело было лишь в этом, длительные дебаты о существовании постулированного «субэлектрона» никогда бы не возникли. Однако в 1910 г. начался растянувшийся на несколько лет спор между Милликеном и его противником, зародившийся как раз на пересечении двух связок Мировых Линий. Анализ получивших выражение мотивов и делавшихся все более жесткими позиций главных героев этого диспута показывает, что здесь, как и в других случаях, огромную роль играла изначальная и нерушимая приверженность оппонентов различным темам.

Появляющиеся в науке темы можно — в нашей приблизительной аналогии — представить в виде нового измерения, ортогонального к $(x-y)$ -плоскости, т. е. чем-то вроде оси z . Хотя эта плоскость удовлетворяет большинству дискурсивных потребностей науки как публично выраженной и осуществляющейся на основе единства мнений деятель-

ности, однако для более полного анализа (исторического, философского или психологического) научных утверждений, процессов и противоречий мы нуждаемся во всем трехмерном ($x-y-z$)-пространстве. (Я не выступаю за то, чтобы в практику самой науки вводить тематические споры или даже осознанное понимание различных тем. Одно из ее величайших преимуществ в том и состоит, что многие проблемы — скажем, относящиеся к «реальности» научного знания — просто не могут ставиться в ($x-y$)-плоскости. Наука стала быстро расти лишь тогда, когда подобные вопросы были выведены за рамки лабораторной деятельности.) Полезно выделить три различных аспекта использования тем: *тематическое понятие*, или тематическая компонента понятия (в связи с чем я разбирал примеры использования понятий симметрии и континуума); *методологическая тема* (скажем, установка на выражение научных законов всюду, где это возможно, в терминах каких-то постоянств, или экстремумов, или запретов); *тематическое утверждение* либо *тематическая гипотеза* (иллюстрациями здесь могут служить такие фундаментальные положения, как ньютоновская гипотеза о неподвижности центра мироздания или два принципа специальной теории относительности).

Мое отношение к задаче идентификации и упорядочивания тематических элементов научных дискуссий в чем-то аналогично подходам фольклориста или антрополога, выслушивающих эпические предания с целью выявления глубинных тематических структур и повторов. Хотя эта аналогия отнюдь не совершенна, в ней есть нечто большее, чем только поверхностные параллели. Например, выявляя темы, преданность которым подчас бывает несокрушимой, можно гораздо лучше, чем на основе одного только знания научного содержания и социального контекста, объяснить характер споров между сторонниками различных взглядов. Приверженность таких физиков, как Г. А. Лоренц, Анри Пуанкаре и Макс Абрагам, старой электродинамической картине мира и их неприязнь по отношению к эйнштейновской теории относительности делаются куда более объяснимыми, если эфир рассматривается как воплощение определенных тематических понятий (например, абсолюта и среды). Так, в некрологе Абрагаму, написанном Максом фон Лауэ и Максом Борном, пронизательно отмечалось: «[Абрагам] испытывал глубокую антипатию к эйнштей-

новским абстракциям. Он любил свой абсолютный эфир, свои полевые уравнения, свой жесткий электрон, как впервые любит юноша, память которого еще не отягощена позднейшим опытом... Его враждебность коренилась в фундаментальнейших физических представлениях, которые он в соответствии со своими убеждениями разделял до конца...*. [Как Абрагам однажды заметил], у него не было возражений против логических взаимосвязей — их он принимал и ими восхищался, считая единственно возможными выводами общерелятивистского подхода. Но сам подход был ему неприятен, и он надеялся, что когда-нибудь астрономические наблюдения опровергнут релятивизм и вернут победу старому абсолютному эфиру»⁵.

Один из результатов тематического анализа, связанный, по-видимому, с диалектической природой науки как коллективной деятельности, направленной на достижение единства суждений ее участников, состоит в том, что альтернативные темы зачастую связываются в пары, как случается, например, когда сторонник атомистической темы сталкивается с защитником темы континуума. Подобные парные оппозиции ($\theta\theta$), такие, как эволюция и регресс, постоянство и простота, редукционизм и холизм, иерархия и единство, эффективность математики (скажем, геометрии) и эффективность механических моделей как объяснительных средств, не так уж трудно распознать, особенно в ситуациях, когда возникают разногласия или появляются достижения, явно возвышающиеся над средним уровнем научных исследований.

Я был удивлен малостью общего числа тем — по крайней мере в физических науках. Подозреваю, что суммарное количество одиночных тем, дублетов и возникающих подчас триплетов не превзойдет сотни. Появление новой темы — событие редкое. Дополнительность (1927) и киральность (50-е годы) — вот примеры последних добавлений к тематическому арсеналу физики. С этой малостью связана древность многих тем и их постоянное воспроизведение как в течение спокойной эволюции науки, так и во время «революций». Так, старая аптитеза среды и пустоты всплыла на поверхность проходивших в начале нашего столетия споров о «реальности молекул»; по сути, ее можно найти и в современных работах по теоретической

* Макс Абрагам умер в 1922 г. — *Прим. перев.*

физике. Можно даже предсказать, что нововведения ближайшего будущего, сколь бы радикальными они ни казались, вероятнее всего, получат выражение по преимуществу в терминах используемых сегодня тем.

Возможно, именно сохранение со временем относительно небольшого запаса тем, циркулирующих в любой данный момент в сообществе ученых, и наделяет науку, несмотря на весь ее рост и изменчивость, той индивидуальностью, которой она обладает. Междисциплинарная общность тем, используемых в различных областях исследований, бросает свет как на смысл всей научной деятельности, так и на единую основу действующих здесь механизмов воображения.

ИЛЛЮСТРАЦИЯ

Теперь я намерен сосредоточиться на примере, взятом из одной наиболее динамичной области сегодняшней физики, рассмотрев для этого работы Стивена Вайнберга⁶; тем самым можно будет прояснить некоторые из обсуждавшихся вопросов и показать, что предложенный метод анализа пригоден как для исторических, так и для современных ситуаций. Линия, описывающая развитие его идей, пересекается с траекторией того потока достижений квантовой электродинамики, который начинается от работы Энрико Ферми 1934 г., а теперь основывается на методах, независимо развитых в конце 40-х годов Р. П. Фейнманом, Джулианом Швингером, Фрименом Дж. Дайсоном и Синитиро Томонага. Среди других точек этой траектории — открытия, сделанные группами в ЦЕРНе, Аргоннской лаборатории и Лаборатории им. Ферми. «Событие», которое предстоит изучить, оказывается (в тематических терминах) лишь последним звеном очень длинной цепи попыток, протянувшейся вдоль многих революций и стремительных успехов прямо к первому из известных в истории ученых: ведь речь шла прежде всего о фундаментальных кирпичиках, из которых предположительно состоит материя.

Короче говоря, Вайнберг, его сотрудники и прочие группы работали над проблемой общей основы четырех типов взаимодействий («сил»), объясняющих, как сейчас считается, все физические явления: гравитационное взаимодействие, которому подчинены все частицы; электромаг-

нитные силы, объясняющие явления, происходящие с участием заряженных частиц, а также взаимодействие света с веществом; «сильные» ядерные взаимодействия между членами большого семейства элементарных частиц, называемых адронами⁷, и «слабое взаимодействие», постулированное для описания чрезвычайно короткодействующих взаимодействий между некоторыми элементарными частицами (например, рассеяние нейтрино на нейтроне или распад нейтрона на протон, электрон и антинейтрино).

В 1967 г. Вайнберг и — независимо — Абдус Салам в Триесте предположили существенную взаимосвязь электромагнитного и слабого взаимодействий. Дело в том, что каждое из перечисленных взаимодействий интерпретируется как результат специфических для него процессов испускания и поглощения: так, электромагнитные явления порождаются обменом безмассовыми фотонами, а силы тяготения считаются возникающими вследствие обмена частицами, получившими имя гравитонов. Посредниками слабого взаимодействия оказываются так называемые промежуточные векторные бозоны (ПВБ) — еще не открытые частицы, которым теория приписывает очень большую массу⁸. Идея Вайнберга состояла в том, что безмассовые фотоны и весьма массивные ПВБ находятся в близком родстве: принадлежат в целом фотонному семейству, ПВБ приобретают свою массу, являющуюся их характерным отличием, вследствие нарушения калибровочной симметрии.

Вайнберг отмечал, что, когда он выдвинул свою теорию, «еще не было ни экспериментальных данных, подтверждающих либо опровергающих ее, ни надежд на скорое их получение»⁹. Вплоть до сегодняшнего дня ПВБ невозможно получить непосредственно, скажем в ускорителях, однако косвенные данные в пользу их существования уже опубликованы. В статье, подписанной 55 учеными¹⁰, совместно работавшими в ЦЕРНе, описаны два события, в которых мюонное нейтрино рассеивалось на электроны, и несколько сотен событий рассеяния мюонного нейтрино на протоне или нейтроне. (Последняя реакция также была прекрасно выявлена в позднейших экспериментах в Аргоннской национальной лаборатории и Лаборатории им. Ферми.) Эти данные свидетельствуют в пользу существования предсказанной

Вайнбергом новой разновидности слабых взаимодействий, включающих постулированные нейтральные ПВБ — «нейтральных токов»¹¹; они косвенно подтверждают теорию, относящую эти частицы к семейству фотонов.

Более того, сильные взаимодействия также удастся рассчитывать методами, подобными применяющимся для слабых и электромагнитных взаимодействий. Поэтому возможно, что и они вызываются обменом частицами, принадлежащими тому же семейству, что и фотоны и ПВБ. «Если эти предположения подтвердятся в последующих теоретических и экспериментальных исследованиях, — писал Вайнберг в заключение своего недавнего обзора, — мы вступим на долгий путь, ведущий к единой картине мира» (прим. 9, р. 59).

Заглянем теперь в начало статьи Вайнберга, озаглавленной «Единые теории взаимодействия элементарных частиц», и попытаемся применить тематический анализ (рис. 1). Каковы же тематические понятия, методологические темы и тематические предположения, присущие этому поиску ПВБ и их адронного аналога?

Можно назвать несколько наиболее ясных и определенных тем, которые обнаруживаются уже при изучении первой страницы этой работы¹². Статья начинается так: «Одна из самых устойчивых надежд человека состояла в открытии нескольких простых универсальных законов, объясняющих, почему природа со всем ее очевидным разнообразием и изменчивостью устроена так, как она устроена. Сегодня мы можем ближе всего подойти к единой картине мира, строя описание в терминах элементарных частиц и их взаимодействий. Обычное вещество состоит именно из таких элементарных частиц, причем как раз из тех, которые обладают массой и (относительной) стабильностью: электронов, протонов и нейтронов. Сюда надо добавить и частицы с нулевой массой: фотон, или квант электромагнитного излучения, нейтрино, играющее важную роль в некоторых видах радиоактивности, и гравитон, или квант гравитационного излучения...»

Наше внимание сразу же привлекает утверждение, что «одна из самых устойчивых надежд человека состояла в открытии нескольких простых универсальных законов» и тем самым в нахождении «единой» (первое слово в названии статьи) теории. Объединение, или синтез, обещающий прогрессирующее понимание через растущую

Unified Theories of Elementary-Particle Interaction

Physicists now invoke four distinct kinds of interaction, or force, to describe physical phenomena. According to a new theory, two, and perhaps three, of the forces are seen to have an underlying identity

by Steven Weinberg

One of man's enduring hopes has been to find a few simple general laws that would explain why nature, with all its seeming complexity and variety, is the way it is. At the present moment the closest we can come to a unified view of nature is a description in terms of elementary particles and their mutual interactions. All ordinary matter is composed of just those elementary particles that happen to possess both mass and (relative) stability: the electron, the proton and the neutron. To these must be added the particles of zero mass: the photon, or quantum of electromagnetic radiation, the neutrino, which plays an essential role in certain kinds of radioactivity, and the graviton, or quantum of gravitational radiation. (The graviton interacts too weakly with matter for it to have been observed yet, but there is no serious reason to doubt its existence.) A few additional short-lived particles can be found in cosmic rays, and with particle accelerators we can create a vast number of even shorter-lived species [see top illustration on page 52].

Although the various particles differ widely in mass, charge, lifetime and in other ways, they all share two attributes that qualify them as being "elementary." First, as far as we know, any two particles of the same species are, except for their position and state of motion, absolutely identical, whether they occupy the same atom or lie at opposite ends of the universe. Second, there is not now any successful theory that explains the elementary particles in terms of more elementary constituents, in the sense that the atomic nucleus is understood to be composed of protons and neutrons and the atom is understood to be composed of a nucleus and electrons. It is true that

the elementary particles behave in some respects as if they were composed of still more elementary constituents, named quarks, but in spite of strenuous efforts it has been impossible to break particles into quarks.

For all the bewildering variety of the elementary particles their interactions with one another appear to be confined to four broad categories [see bottom illustration on page 52]. The most familiar are gravitation and electromagnetism, which, because of their long range, are experienced in the everyday world. Gravity holds our feet on the ground and the planets in their orbits. Electromagnetic interactions of electrons and atomic nuclei are responsible for all the familiar chemical and physical properties of ordinary solids, liquids and gases. Next, both in range and familiarity, are the "strong" interactions, which hold protons and neutrons together in the atomic nucleus. The strong forces are limited in range to about 10^{13} centimeter and so are quite insignificant in ordinary life, or even on the scale (10^8 centimeter) of the atom. Least familiar are the "weak" interactions. They are of such short range (less than 10^{16} centimeter) and are so weak that they do not seem to play a role in holding anything together. Rather, they are manifested only in certain kinds of collisions or decay processes that, for whatever reason, cannot be mediated by the strong, electromagnetic or gravitational interactions. The weak interactions are not, however, irrelevant to human affairs. They provide the first step in the chain of thermonuclear reactions in the sun, a step in which two protons fuse to form a deuterium nucleus, a positron and a neutrino.

From this brief outline one can see

that a certain measure of unification has been achieved in making sense of the world. We are still faced, however, with the enormous problem of accounting for the baffling variety of elementary-particle types and interactions. Our prospects for further progress would be truly discouraging were it not for the guidance we receive from two great products of 20th-century physics: the development of quantum field theory and the recognition of the fundamental role of symmetry principles.

The Necessity of Fields

Quantum field theory was born in the late 1920's through the union of special relativity and quantum mechanics. It is easy to see how relativity leads naturally to the field concept: if I suddenly give one particle a push, this cannot produce any instantaneous change in the forces (gravitational, electromagnetic, strong or weak) acting on a neighboring particle because according to relativity no signal can travel faster than the finite speed of light. In order to maintain the conservation of energy and momentum at every instant, we say that the pushed particle produces a field, which carries energy and momentum through surrounding space and eventually hands some of it over to the neighboring particle. When quantum mechanics is applied to the field, we find that the energy and momentum must come in discrete chunks, or quanta, which we identify with the elementary particles. Thus relativity and quantum mechanics lead us naturally to a mathematical formalism, quantum field theory, in which elementary-particle interactions are explained by the exchange of elementary particles themselves.

Рис. 1. Первая страница статьи Стивена Вайнберга. «Scientific American» № 1 (июль 1974)

экономии мышления, является членом взаимосвязанного тематического набора, противопоставляясь здесь, например, множественности, сложности или изменчивости; однако главной антитезой этой темы оказывается уже обсуждавшаяся выше тема анализа, разложения, редукции. В данном случае объединение, очевидно, ставится на первое место.

«...Почему природа со всем ее очевидным разнообразием и изменчивостью устроена так, как она устроена?» Кеплер, вопрошающий в предисловии к своей «Космографической тайне»: почему расстояния между планетами, их число и их движения таковы, какими мы их находим, «а не иные»? — должен был бы согласиться с этим описанием одной из наиболее устойчивых надежд человека; так поступило бы и большинство живших позднее ученых. Но вторая фраза статьи Вайпберга раскрывает предпосылку, которая уже не получила бы признания всех ученых. Здесь мы находим новую тематическую установку, согласно которой желанная объединенная картина мира должна выводиться из «элементарных частиц и их взаимодействий». Эхом отдаются слова Демокрита: «Нет ничего, кроме атомов и пустоты». Однако, как вкратце будет показано ниже, отнюдь не все физики нашего времени подписались бы под таким мнением; биологи, психологи или специалисты в области социальных наук также, конечно, не нашли бы удовлетворения в этом специфическом образе *природы*, состоящей из частиц и их взаимодействий. Здесь уже сделан некий выбор, хотя он и в самом деле сулит захватывающую дух унификацию описания именно этого аспекта природы.

Каков же у Вайпберга смысл слова «элементарный»? Он уточняется в следующем абзаце его статьи указанием на то, что сегодня нет «никакой удовлетворительной теории, объясняющей элементарные частицы в терминах их более элементарных составляющих». Вполне возможно, что когда-нибудь обнаружатся «еще более элементарные составляющие, называемые кварками», однако до тех пор, пока, несмотря на «энергичные усилия», «частицы расколоть невозможно», их следует считать элементарными.

Это качество элементарности порождает целую объяснительную схему, связывающую предположительно элементарные частицы с построенными из них объектами. Древность таких поисков очевидна — они восходят еще к Фалесу, передаваясь через Прота и Дж. Дж. Томсона в

наше время. Сегодня элементарные частицы оказываются истинными «атомами» греков, действительно «неделимыми» сущностями. Они оказываются одним из элементов другого тематического триплета, второй составляющей которого будет понятие *составного объекта*, сложенного из подобных атомов или элементарных квантов и объясняемого в их терминах; третьим элементом является понятие *континуума*, бесконечно делимой среды¹³.

Список элементарных частиц начинается с электрона, протона и нейтрона, куда добавляются затем «частицы с нулевой массой: фотон... нейтрино... и гравитон». Мы, очевидно, попадаем в мир специфической дискретности: хотя присущие этим частицам волновые свойства и не подвергаются сомнению, но они в этом образе отодвигаются на задний план¹⁴.

Количество и разнообразие элементарных частиц Вайнберг называет «загадочным»; однако и подобные загадки поддаются разрешению. Помочь в этом может такая методологическая тема, как идея упорядочения хаоса на базе понятия иерархии, или категориальных уровней. Чтобы она была практически полезной, число уровней должно быть невелико: в данном случае каждый уровень соответствует одному из фундаментальных взаимодействий, так что оно равно четырем. Это разделение на четыре категории отнюдь не аналогично чему-то вроде рассаживания разных птиц по разным клеткам. В природе существует реальная иерархия взаимодействий, радиусы которых простираются от бесконечности до расстояний, много меньших, чем 10^{-14} см.

Уже отсюда можно видеть, что, говоря словами Вайнберга, в «понимании мира удалось достичь определенного единства». Стимулирование этого процесса, когда возможностей одной только логики оказывается уже недостаточно, — одна из главных функций темы. «Перед нами все еще стоит сложнейшая проблема объяснения ставящего в недоумение количества типов элементарных частиц и взаимодействий» (3-я колонка рис. 1). В методологическом плане теория явно напоминает о старой четырехкатегориальной схеме, на протяжении более чем 2000 лет успешно помогавшей рационализировать наблюдаемые явления; в ее основе лежит идея четырех Элементов, обладающих собственной внутренней иерархией, упорядочивающей их от наилегчайшего к тяжелейшему, и собственно-

ми правилами взаимодействия. Однако новая унификация имеет множество преимуществ, к числу которых относится надежда на то, что две или даже три силы будут связаны «лежащей в их основе тождественностью».

Путь к установлению такой тождественности лежит через аналогии в поведении частиц, вследствие чего за поверхностными различиями начинают проявляться черты единства, означающего нечто большее, чем просто принадлежность к одним и тем же уровням иерархической структуры. Этот поиск чего-то большего приводит к понятию семейства, например: «Стремление пайти глубинную тождественность, лежащую в основе электромагнитного и слабого взаимодействия, естественным образом приводит к предположению возможности какой-то более обширной калибровочной симметрии, объединяющей фотон и промежуточный бозон в единое семейство» (прим. 9, с. 55). Именно «фамильные» связи оказываются основным объяснительным механизмом, позволяющим достичь большей простоты в описании частиц; они проявляются, несмотря на «очевидные» различия между членами семейств, которые внешне могут быть весьма велики — как в случае нулевой массы фотона и по необходимости очень большой массы промежуточного векторного бозона.

Одна из основных идей как статьи Вайнберга, так и множества других работ в данной области заключается в выявлении групп, семейств и суперсемейств («суперсемейства из восьми, десяти или даже большего числа членов») ¹⁵. Устанавливаемые таким образом взаимосвязи между элементарными частицами гораздо глубже отношений, существующих между элементами построенных ad hoc групп, которые в прошлом столетии были открыты при создании периодической системы химических элементов, или, скажем, групп систематики Линнея. Однако во всех случаях методология объяснительных средств оказывается качественно единой.

Я хотел бы воспользоваться здесь возможностью прояснить связь между антропоморфным понятием семейства и физикой элементарных частиц, которую подчас сравнивают, хотя и неточно, с зоологией. Действительно, здесь вновь и вновь возникают темы, источником которых может быть человеческое воображение, формирующееся еще до принятия сознательного решения заняться наукой. Сообщение, описывающее, скажем, результаты анализа сним-

ков, полученных в пузырьковой камере, в значительной степени строится как история жизни частиц, их эволюции и регресса, рождения и смерти. Частицы появляются, сталкиваются с другими частицами, порождают первое поколение новых частиц, которые затем распадаются, давая жизнь второму и, возможно, третьему поколениям. Они характеризуются своими временами жизни, относительно короткими или длительными, и членством в семействах¹⁶.

Выслушивая от физиков все эти истории о близких и дальних родственниках в духе сельских рассказов, можно заподозрить, что вначале эта терминология не принималась «всерьез». Однако тема жизненного цикла все же работает в физике, подобно ряду других тем, привнесенных в науку из мира человеческого опыта. Мне всегда казалось занятным сильнейшее стремление психологов, работавших на стыке прошлого и нынешнего столетий, добавить респектабельности своей науке, заимствуя для описания человеческих отношений физические понятия. Вероятно, они и не думали, импортируя чужие концептуальные средства, что их собственная позиция куда более реалистична. Это напоминает о банке, построенном в Афинах у подножия Акрополя, который выглядел как скверная копия древнегреческого храма. Оказалось, что архитектор выбрал в качестве своей модели отнюдь не одно из расположенных рядом классических сооружений, а нечто куда более модное: один из берлинских банков, возведенный в свою очередь по образцу более поздней и довольно посредственной имитации античной постройки.

Мы все еще не разделились с первой страницей статьи Вайнберга. Здесь же начинают обнаруживаться и другие важнейшие темы: *изотропия* и *однородность* (например, частицы одной разновидности являются, насколько нам известно, «абсолютно тождественными вне зависимости от того, принадлежат ли они одному и тому же атому или находятся в разных концах Вселенной»), *симметрия* и *сохранение* («энергии и импульса в каждый момент»).

На следующих страницах работы Вайнберга мы сталкиваемся и с рядом дополнительных тем. Среди них — эффективность геометрических образов (таких, как фейнмановские диаграммы); эффективность объяснений, основанных на целых числах (долг квантовой механики пифагореизму); вновь сохранение (заряда); бесконечность и конечность (массы); новые принципы симметрии¹⁷ и, кро-

ме того, модели (прим. 9, р. 57). Термин «модель» — это, вероятно, одно из самых употребительных слов в языке физиков-теоретиков.

Таким образом, мы подошли к последней фразе статьи Вайнберга; она уже цитировалась выше, но теперь мы можем посмотреть на нее в новом свете: «Если эти предположения подтвердятся в последующих теоретических и экспериментальных исследованиях [что означает подтверждение аналитических, или формальных, и эмпирических аспектов, представленных осями y и x], мы вступим на долгий путь, ведущий к единой картине мира», т. е. к осуществлению одной из самых устойчивых человеческих надежд, выраженных во многих темах, как античных, так и современных. В данном случае надежда покоится на демокритовской тематической приверженности корпускулярному, или атомистическому, подходу к объяснению физических явлений, а не на ее альтернативе, теме первичности континуума, проявляющейся, например, в работе теоретика, не верящего в фундаментальность квантовомеханической дискретности и пытающегося объяснить материю в терминах сингулярностей или вихрей в какой-то жидкости или в каком-то поле. Тематически большинство современных физиков относятся к лагерю Демокрита, однако Эйнштейн, Шредингер и некоторые другие, считавшие континуум наиболее фундаментальным объяснительным средством, упорно возражали против этого; один из них даже заявил, что, если дискретности суждено быть принятой в качестве основы описания атомных процессов, он предпочел бы бросить физику.

Придерживаясь столь различных тематических позиций, нелегко прийти к соглашению. Среди тех, кто пытался убедить Эйнштейна, был и Вернер Гейзенберг¹⁸. Он так рассказывает об этом: «Мы прекрасно провели вечер вместе с Эйнштейном, но, когда дело дошло до интерпретации квантовой механики, ни он, ни я не смогли убедить друг друга. Он все время говорил: «Прекрасно, я согласен, что любой эксперимент, результаты которого можно вычислить на базе квантовой механики, будет таким, как вы говорите, но все-таки подобная схема не может быть окончательным описанием природы». Гейзенберг осознает невозможность преодоления столь глубинного убеждения на основе аргументации, так хорошо помогавшей достичь единства мнений по другим научным проблемам. Он до-

бавляет: «Сомневаюсь, следует ли относить нежелание Эйнштейна, Планка, фон Лауэ и Шредингера принять [фундаментальность квантовомеханического описания] только за счет предубеждений. Слово «предубеждение» звучит в данном контексте слишком негативно и не очерпывает реальной ситуации».

И как бы для демонстрации справедливости своего замечания Гейзенберг не уставал показывать, что в противоположность большинству современных ученых он уже не может принять акцента сегодняшней теории на превращении понятия «элементарная частица» в основную точку отсчета всех объяснений. Он чувствовал, что, поскольку элементарные частицы могут рождаться в столкновениях друг с другом, *они* в действительности являются сложными объектами, которые сами требуют объяснений; «или, выражая это с помощью парадокса: каждая частица состоит из всех других частиц». Поиск «действительно элементарных частиц», которые легли бы в основу теории материи, восходит «к философии Демокрита», но он «ошибочен» (или, в наших терминах, приверженность этой теме в лучшем случае не вызывает симпатии у Гейзенберга).

Сам он стремился к другому: «Что же должно в таком случае заменить понятие элементарной частицы? Думаю, что мы должны ввести ему на смену понятие фундаментальной симметрии... И когда мы на деле совершим этот решающий шаг... я не думаю, что мы будем нуждаться в каких-то дальнейших прорывах мысли, чтобы понять элементарные — или, скорее, неэлементарные — частицы». В другом месте Гейзенберг объясняет, что «для физика-атомника «вещью в себе» является, если он вообще использует это понятие, именно математическая структура». Это тематический выбор, объединяющий Гейзенберга с великой платоновской традицией: материю нельзя вывести из материи; ее основу надо искать в формальных, математических принципах, ибо «наши элементарные частицы сравнимы с правильными телами платоновского «Тимея». Они являются исходными моделями, идеей материи»¹⁹.

Разумеется, каждый изучавший подъемы и затухания в принятии тех или иных тем спросит, не преждевременно ли считать, что древний спор между идеями Демокрита и Платона уже решен сегодня раз и навсегда в пользу

одной из этих концепций. Мы имеем здесь дело не с разрешимыми задачами, а скорее с первичным материалом научного (и не только научного) воображения.

* * *

Изучив только что богатство тематической структуры, проявляющейся в стимулирующей воображение статье одного из виднейших ученых наших дней, мы можем теперь взглянуть на те же вопросы иначе, проследив спаривание противоположных тем в истории науки.

Начнем с примера. Восходящая к ньютоновскому времени традиция, на которой была основана вся физическая наука, требовала, чтобы любые факты, демонстрирующие наличие хаоса или неопределенности, объяснялись на основе каких-то более фундаментальных уровней, где господствуют определенность и порядок, подобно тому как явно нерегулярные видимые движения планет были интерпретированы древнегреческой наукой в качестве результатов наложения друг на друга нескольких простых и упорядоченных движений. Эта схема объяснения, когда наблюдаемые случайные или беспорядочные события интерпретируются в терминах классических причинных цепей, является тематической ориентацией. Она не навязывается ни экспериментальной, ни логической необходимостью. Однако она оказалась в опасности после того, как в середине прошлого века возник противоположный образец объяснения, берущий начало в кинетической теории. Теперь оказалось, что простые упорядоченные явления можно успешно понять и в том случае, если представить их как результаты скрытого в глубине хаоса. Так, тот факт, что стоящий на столе баллон, в который под давлением накачан газ, находится в покое, можно объяснить тем, что все содержащиеся в нем газовые частицы, движущиеся в различных направлениях и с разными скоростями, постоянно соударяются с его внутренними стенками, но в среднем эти толчки уравнивают друг друга: элементарный видимый порядок оказывается порождением невидимого хаоса.

Однако отнюдь не случайным было то, что Эйнштейн в своей работе 1905 г. о броуновском движении вновь изменил направление объяснительной схемы на обратное: он (не веривший, что «бог играет в кости») восстановил

онтологические основы, заложенные Ньютоном (писавшим, что бог является «богом порядка»). Он успешно объяснил загадку непрекращающегося танца крошечных частиц, наблюдаемых в суспензиях под микроскопом. Эти внешние случайные движения были, как показал Эйнштейн, полностью объяснимыми на основе приложения ньютоновских законов соударения к взаимодействиям между такими частицами и бомбардирующими их молекулами жидкости. В итоге в глубине вещей вновь оказывался ньютоновский порядок.

Однако с развитием квантовой физики делалось все очевиднее, что возникновение такого порядка в мире сталкивающихся частиц само наилучшим образом объяснялось на основе предположения, что этот порядок является просто суммарным результатом большого числа атомных событий, каждое из которых по отдельности подчиняется законам случая. Используя свой принцип неопределенности, Гейзенберг говорил, что отныне фундаментальной объяснительной темой становятся уже не простые причинные последовательности, типичные, скажем, для движения спутника вокруг планеты, а вероятностные цепочки, подобные выпадениям случайных чисел. Онтологическая лестница была вновь повернута в обратном направлении.

И снова начались продолжающиеся и сегодня попытки восстановить эту лестницу в прежнем положении. Сам Эйнштейн вместе с небольшой, но упорной группой своих последователей никогда не считал главенство темы фундаментального пробабиллизма в физическом мире надежно установленным и окончательным. Они надеялись показать, что под уровнем, на котором действует принцип неопределенности, скрывается другой уровень, где управляют пока еще скрытые принципы классической причинности, порождающие наблюдаемую стохастичность атомных процессов: хаос возникает из порядка, а не наоборот.

ПРЕДОСТЕРЕЖЕНИЕ

Я не претендую на роль Иоанна Крестителя и хотел бы избежать его судьбы. Поэтому позвольте закончить статью перечнем ограничений, которые я усматриваю в тематическом анализе научной работы:

1. Хотя определенные темы могут сильно влиять на ход мысли ученых или научного сообщества и тем самым

составлять наиболее интересные аспекты изучаемой ситуации, однако наука, как прошлая, так и современная, содержит и такие важные компоненты, в отношении которых тематический анализ, судя по всему, не слишком полезен. Так, исследуя деятельность Энрико Ферми и его группы (VII глава данной книги), я не нашел особых преимуществ в том, чтобы интерпретировать ее в тематических терминах.

2. Даже если бы это было и не так, я не хотел бы, чтобы стали думать, что тема — это главная реальность научной работы. Будь иначе, историография науки выродилась бы в описательство и научные находки оказывались бы подобием историй старого албанского горца, для которого сегодняшней день ничем не хуже и не лучше вчерашнего. Нет сомнения, что темы науки испытывают подъемы и упадки, претерпевают последовательные этапы уточнений, а подчас забрасываются или вводятся заново. Но в равной мере несомненно и то, что в целом здесь происходит прогрессирующее движение ко все более исчерпывающему и глубокому пониманию природных явлений.

3. Изучение роли тем в работе ученого может быть в равной мере интересным вне зависимости от того, куда ведет эта работа — к «успеху» или «неудаче», ибо приверженность определенному тематическому набору сама по себе еще не предопределяет, окажется ли этот ученый правым или ошибется. Как бы то ни было, но всякие попытки «очиститься» от тем, чтобы улучшить этим свою науку, будут, по всей вероятности, бесплодными. Но тщательное изучение возможных преимуществ тем, противоположных нашим собственным, могло бы привести к благотворным результатам.

4. Нам необходимо больше знать об источниках тем. Для меня совершенно ясно, что хорошим исходным пунктом в этом деле был бы подход, акцентирующий взаимосвязи между когнитивной психологией и индивидуальной научной деятельностью. Как я уже отмечал, большинство составляющих частей тематического воображения ученого, быть может даже все оно целиком, оформляется еще до того, как он превращается в профессионала, а некоторые из особенно прочно удерживающихся тем заметны даже в детстве²⁰. Все это, конечно, стоит дальнейших исследований.

5. Тематическая ориентация ученого, раз сформировавшись, обычно оказывается на удивление долгоживущей, но и она может изменяться. Примерами этого являются Вильгельм Оствальд, который сначала выступил против атомизма, а затем вновь вернулся на свою прежнюю позицию, Планк, Эйнштейн и многие другие. Более того, принятие определенной темы, скажем атомизма, в одной области физики не предотвращает подчас принятия противоположной темы этим же ученым, когда он обращается к другой области: вспомним, например, о битве Милликена за «атомы» электричества, сопровождавшейся его резким отрицанием световых квантов. Пуанкаре, приходя к теории относительности, был консерватором, не способным отрешиться от эфирных представлений, но он был совсем иначе настроен по отношению к квантовой теории.

6. Хотя первичными носителями тем являются, как правило, отдельные ученые, но сами темы с небольшими вариациями принимаются и целыми научными сообществами. «Карьера» таких тем может быть неплохо понята в терминах жизненного цикла; иначе говоря, сначала темы могут испытывать подъем и широко приниматься, затем это принятие может сужаться и в конце концов сходить на нет. Объяснительные способы, подобные соответствию между макрокосмом и микрокосмом, неотъемлемым принципам, телеологическим стимулам, действию на расстоянии, космической среде, организмической интерпретации, скрытым механизмам, абсолютности пространства, времени и одновременности, в свое время господствовали в физике. Мы и сейчас крайне нуждаемся в детальном изучении механизмов таких подъемов и упадков.

7. Всегда остается опасность спутать тематический анализ с чем-то иным: юнговскими архетипами, метафизическими концепциями, парадигмами и мировоззрениями. (Вполне может оказаться, что два последних члена этого перечня содержат в себе тематические элементы, однако в целом различия между ними совершенно неустранимы. Так, например, тематические оппозиции сохраняются в течение целых периодов «нормальной науки», а некоторые темы переживают даже эпохи научных революций. Тематические решения в гораздо большей степени по сравнению с парадигмами или мировоззрениями обуславливаются прежде всего индивидуальностью ученого, а не

только его социальным окружением или «сообществом».) Хотя тематический анализ и может быть ограничен в своих возможностях требованием обязательного использования какого-то опыта непосредственной работы с научными материалами, однако выигрыш от тщательного изучения реальных ситуаций кажется мне куда более значительным по сравнению с тем, что может быть получено на основе таких новомодных направлений, как сравнительный анализ различных историографических школ или изобретение спекулятивных «рациональных реконструкций».

8. Наконец, существует и потребность в самосознании. В истории науки поиски ответов сами по себе не в меньшей степени тематически насыщены, чем поиски единой теории элементарных частиц. Поэтому надо подготовиться к критике со стороны тех, у кого раздражение вызывают не сами наши темы, а скорее их антитемы; и нам следует быть готовыми подняться над ограничениями, в рамках которых мы неизбежно работаем, как это сделал Эйнштейн, с присущей ему свободой сказав: «Приверженность идее континуума вырастает во мне не из предубеждения, а просто из того, что я не могу придумать ему органическую замену»²¹. Его собственная деятельность свидетельствует, конечно, о том, что человек на деле способен превратить такие имманентные границы своего научного воображения из слабости в силу, а не просто сожалеть о них или пренебрегать ими.

1. В основе этой статьи лежит выступление автора на двадцать пятой ежегодной конференции Общества по истории науки 16 октября 1974 г. Сокращенный вариант ее был опубликован в журнале "Science", v. 188, Apr. 25, 1974, p. 328—334. В качестве приглашенного оппонента ее комментировал на конференции Роберт К. Мертон, и этот комментарий — «Тематический анализ в науке: заметки по поводу концепции Холтона» — опубликован в том же номере, так что лучше всего прочитать его совместно с данной статьей. Среди других вопросов Мертон обсуждает тематический анализ в качестве как перспективы, так и инструмента историографии науки, а также параллели между тематическим анализом в истории и социологии науки.

2. См.: Holton G. *Thematic Origins of Scientific Thought: Kepler to Einstein*. Cambridge, Mass., Harvard University Press, 1973, p. 276—278.

3. Понятия «частной» и «публичной» науки подробно обсуждались в цитированной в прим. 2 работе: с. 17—24 и 387—395. Мертон в упомянутом комментарии справедливо обратил внимание на другие варианты использования подобным же образом звучащих терминов, не связанные с их употреблением в данном контексте. Так, то, что здесь названо «частной наукой», выделяет те аспекты «момента рождения» научного открытия, которые, как отмечает Мертон, «в соответствии с принятыми условностями обычно не находят отражения в «публичной науке», сохраненной в научных журналах и монографиях». Мертон указывает, что социологи, изучающие типы ученых, используют аналогичный термин «частные ученые» для обозначения тех, кто, работая по преимуществу в промышленных лабораториях, не ищет в научном сообществе признания и подтверждения своих опубликованных работ, число которых, как правило, весьма незначительно.

4. См.: Holton G. *Dionysians, Apollonians, and the Scientific Imagination*.—In: Holton G. *The Scientific Imagination: Case Studies*. Cambridge University Press, 1978, p. 84—110, 324—331.

5. Laue M. von und Born M.—In: "Physikalische Zeitschrift", 24, 1923, s. 52.

6. См., например: Weinberg S. *Recent Progress in Unified Gauge Theory of the Weak, Electromagnetic, and Strong Interactions*.—In: "Reviews of Modern Physics", 46, 1974, p. 255.

7. Семейство адронов включает мезоны (например, π^+ , π^- и π^0) и барионы (например, протон, нейтрон или Ω -гиперон). В него

не входят фотоны и члены лептонного семейства, т. е. нейтрино, электроны и мюоны, массы которых намного меньше адронных масс.

8. Одним из видов ПВБ является так называемая W -частица, или заряженный промежуточный векторный бозон; другим — нейтральный промежуточный векторный бозон, или Z -частица.

9. Weinberg S. Unified Theories of Elementary-Particle Interaction.—In: "Scientific America", № 1, v. 231, 1974, p. 56.

10. Haset F. J. et al. — In: "Physics Letters", v. 46B, № 121, 1973, p. 138.

11. Это означает, что происходящее в пузырьковой камере соударение мюонного нейтрино с протоном порождает мюонное нейтрино, невидимое в этой камере, нейтрон, который также не оставляет следа, и π^+ -мезон, который является заряженной частицей и потому оставляет видимый след. Здесь нет чистого переноса заряда того рода, который соответствует процессам с заряженными токами — например, когда соударение нейтрино с протоном порождает отрицательный мюон, протон и положительный пион, и в этом процессе происходит обмен одной единицей положительного заряда. В первом же случае фотографии треков в пузырьковой камере свидетельствуют скорее о новом виде слабого взаимодействия, в котором нейтральный ПВБ мог бы играть роль посредника.

12. Не все темы обнаруживаются сразу и непосредственно; чтобы их выявить, бывает необходимо новое, повторное изучение текста, причем не только его первой страницы. Нашей цели помог и тот факт, что статья Вайнберга опубликована не в профессиональном, а в популярном журнале: ученые, обращаясь в этом случае к широкой аудитории, обычно более склонны раскрывать свои тематические предпосылки, которые в «нормальных» научных трудах, как правило, не получают словесного выражения.

13. Рассматриваемый в качестве определенной темы, атом не должен непосредственно соотноситься с реальными физическими объектами, такими, как гамма-частица, нейтрон или протон. Он может играть роль исходного элемента, на основе которого конструируются гораздо более формалистические объекты. Например, Вайнберг в названной выше статье (прим. 9) отмечает на с. 58, что слабые взаимодействия, если их внутренняя интенсивность действительно сравнима с силой электромагнитных взаимодействий, «могут вызвать дополнительные поправки к изоспиновой симметрии». Подобно таким более осязаемым сегодня объектам, как атомные ядра, атомы или кристаллы, теоретические конструкции также можно мыслить в качестве «сумм» или «совокупностей», составленных из различных компонент, представляя их, скажем, в виде какого-то центрального члена и ряда поправочных членов.

14. Что касается гравитона, то Вайнберг мимоходом отмечает, что он «слишком слабо взаимодействует с материей, чтобы непосредственно наблюдаться, однако нет никаких серьезных причин сомневаться в его существовании». Это — отличное и бесстрашное опровержение докучливого Симпличио из галилеевских «Диалогов», восклицавшего по-аналогичному поводу, что нельзя столь настойчиво выражать свою уверенность, не сделав не только сотни, но даже и единой поправки.

15. «Считается, что существование семейств элементарных частиц есть следствие одного из принципов симметрии, известной как пространственная симметрия; она аналогична симметрии относительно вращения, порождающей семейство квантовых состояний атома водорода. Из таких семейств формируются сверхсемейства (октеты, декуплеты и т. д.), что было независимо предсказано в начале 60-х годов Гелл-Манном и Нееманом» (прим. 9, с. 55).

16. Роль антропоморфных проекций, как «прямых», каким-то образом отображающих человеческую природу на внешний мир, так и «обратных», трансформирующих уже антропоморфизированную таким образом внешнюю реальность в первоначальный контекст человеческих действий, обсуждается в книге автора, названной в прим. 2, с. 100—109.

17. Принципы симметрии содержат «информацию о законах природы на самом глубоком из всех возможных уровней» (прим. 9, с. 55—56).

18. Heisenberg W. Development of Concepts in the History of Quantum Theory. — In: "American Journal of Physics", 43, № 5, 1975, p. 392.

19. Heisenberg W. Physics and Beyond. New York, Harper and Row, 1971, p. 241; см. также последнюю главу этой книги «Элементарные частицы и философия платонизма». Эти идеи Гейзенберг развивает в работах: Heisenberg W. Tradition in Science. — In: Gingerich O. (ed.). The Nature of Scientific Discovery. Washington, Smithsonian Institution Press, 1975, p. 219—236; 556—573; Heisenberg W. The Nature of Elementary Particles. — In: "Physics Today", 29, March, 1976, p. 32—39.

20. Истоки тематической приверженности Эйнштейна я проследил в X главе своей книги, названной в прим. 2. Об исследовании выбора тем, влияющих на формирование будущего ученого, см.: Holton G. On the Psychology of Scientists, and Their Social Concerns. — In: Holton G. The Scientific Imagination: Case Studies. Cambridge, 1978, p. 229—252.

21. Цит. по: Schilpp P. (ed.). Albert Einstein, Philosopher-Scientist. New York, Harper and Row, 1959, v. 2, p. 686.

II. ВСЕЛЕННАЯ ИОГАННА КЕПЛЕРА: ЕЕ ФИЗИКА И МЕТАФИЗИКА *

Важные публикации Иоганна Кеплера (1571—1630) предшествовали по времени публикациям работ Галилея, Декарта и Ньютона и в некоторых отношениях были даже более показательными. И тем не менее Кеплер является фигурой, до странности пренебрегаемой и непонимаемой. Лишь немного из его многотомного наследия переведено на английский¹. В течение последних 20 лет на английском языке не появилось ни полной биографии², ни даже основательного исследования его трудов. Причина этого лежит отчасти в кажущемся смешении несовместимых элементов — физики и метафизики, астрономии и астрологии, геометрии и теологии, — которое характеризует творчество Кеплера. Даже по сравнению с Галилеем и Ньютоном произведения Кеплера удивительно отличаются по *характеру* рассматриваемых им проблем. Кеплер гораздо более прочно связан со временем, когда анимизм, астрология, числовая магия и чародейство представляли собой проблемы для серьезного обсуждения. Да и стиль его изложения не способствует тому, чтобы пробудить у современного читателя сколько-нибудь значительный интерес, поскольку кажется, что нередко он уходит с дороги, ведущей к важным проблемам физической науки. Не является ли это просто результатом неизбежного астигматизма нашей исторической ретроспекции? Мы воспитаны на аскетических стандартах изложения, берущих начало у Евклида и вновь появляющихся, например, в первой и второй книгах нью-

* Holton G. Thematic Origins of Scientific Thought: Kepler to Einstein. Cambridge, Mass., Harvard University Press, 1973, p. 69—90.

тоновых «Начал»³, и научены прятать за сухой схемой истинные этапы открытия — все эти догадки, ошибки и внезапные вспышки удачи, без которых научного творчества обычно не существует. Но у Кеплера его обескураживающая искренность и сильный эмоциональный темперамент заставляют его подробно рассказывать нам о путях своего мучительного прогресса. И он позволяет себе быть настолько очарованным красотой и многообразием мира в целом, что уже не может постоянно ограничивать свое внимание только теми проблемами, которые действительно могут быть решены. Он дает нам пространный рассказ о своих ошибках, и временами в нем чувствуется плохо замаскированная гордость трудностью поставленной задачи. Обладая богатым воображением, он часто приводит аналогии со случаями из жизни — удивительными или самыми обычными. Он в любой момент готов прервать свои научные размышления внезапным призывом к читателю прочесть какой-нибудь абсолютно неудобочитаемый отрывок либо прервать себя тривиальностями и игрой слов, анекдотами о ком-либо или же восхищенными возгласами о каких-нибудь новых геометрических соотношениях, числовой или музыкальной гармонии. А временами он вдруг ударяется в поэзию или молитву, одержимый, по его словам, «священным экстазом». Мы видим, как он идет по пути первооткрывателя, ища твердую почву, на которой позднее могло бы быть построено здание современной науки, и как часто его приводит в области, которые — как теперь нам известно — для этого совсем неподходящи.

Эти черты стиля Кеплера не являются чем-то просто для нас неприемлемым. Они отражают сложную борьбу, сопровождающую возникновение новой науки на заре XVII в. Представления, которые сегодня мы могли бы рассматривать как взаимно исключаящие, оказываются действующими бок о бок в его интеллектуальном арсенале. Первоочередной целью настоящего исследования как раз и является стремление идентифицировать эти разобщенные элементы и показать, что в действительности из их сопоставления обнаруживается многое из того, что составляет силу Кеплера. Мы увидим также, что, когда его физика оказывается бессильной, на помощь ей приходит метафизика; когда механическая модель оказывается неспособной служить инструментом объяснения, выручает матема-

тическая модель, а теологическая аксиома в свою очередь берется в качестве связующего звена. Классическую картину мира, которая была расколота на две области: небесную и земную, — Кеплер пытается объединить при помощи представления об универсальной физической силе; но, когда эта проблема не поддается физическому анализу, он с готовностью возвращается к конструкциям объединяющего образа, а именно Солнца, находящегося в центре мира и управляющего им, и объединяющего принципа — всеобъемлющей математической гармонии. В результате ему так и не удается осуществить свой первоначальный замысел — дать механическое объяснение наблюдаемому движению планет, но зато ему удастся по крайней мере навести мосты между старым взглядом на мир как на неизменяемый космос и новым взглядом на мир как на арену действия динамических и математических законов. А по ходу дела, как бы случайно, он наталкивается на ту самую нить, которая была необходима Ньютону для окончательного утверждения нового взгляда на вещи.

НА ПУТИ К НЕБЕСНОЙ МАШИНЕ

Ясное инстинктивное понимание физики и приверженность к метафизике неоплатоников — это две главные черты Кеплера, которые теперь должны быть рассмотрены и в отдельности, и вместе взятые. Что касается первой, то здесь следует заметить прежде всего, что физический гений Кеплера часто остается вне внимания критиков, которые пугаются его многочисленных отступлений в области, находящиеся за пределами науки в ее позднейшем понимании, хотя его «Диоптрика» (1611), математические работы по бесконечно малым (в «Новой стереометрии», 1615) и логарифмам («Тысяча логарифмов», 1624), казалось бы, прямо предназначены для современного читателя. Но даже случайно высказанные Кеплером точки зрения часто доказывают, что его проникновение в суть вещей выходило далеко за рамки современного ему состояния знания. Одним из примеров этого может быть заслуживающее внимания исследование движения снаряда на вращающейся Земле, в котором содержится формулировка, эквивалентная принципу независимости скоростей⁴. Другим примером является его взгляд относительно

вечного двигателя. «Что касается этого вопроса, — писал Кеплер, — то я полагаю, можно весьма убедительно доказать, что ни вечное движение, ни квадратура круга — две вещи, над которыми ломали головы великие умы на протяжении столетий, — никогда не будут иметь места или допускаться природой»⁵.

Но, конечно, с наибольшей силой кеплеровский гений проявился в его ранних исследованиях по физике солнечной системы. Он был первым, кто пытался найти *универсальный физический закон, основанный на земной механике*, с тем чтобы понять всю Вселенную и дать ее количественное описание. В аристотелевской и птолемеевской системе мира и, конечно же, в коперниковской планеты двигались по соответствующим орбитам согласно законам, которые были либо чисто математическими, либо механическими, но в неземном смысле. Как указывает Голдбек, сам Коперник предупреждал, что между небесными и просто земными явлениями необходимо сохранять четкое различие, чтобы «не приписать небесным телам того, что принадлежит Земле»⁶. Это коренное различие у Кеплера отсутствует с самого начала. В его юношеской работе 1596 г. «Космографическая тайна» используется единый геометрический принцип для того, чтобы показать неизбежность наблюдаемых данных для орбит всех планет. В этом отношении Земля рассматривается им наравне со всеми другими планетами⁷. Говоря словами Отто Брика: «Основной и непреходящий результат состоит в том, что вся мировая система впервые была подчинена единому закону построения — хотя и не закону сил, подобному открытому Ньютоном, а всего лишь непричинному взаимоотношению между пространствами, но тем не менее одному-единственному закону»⁸.

Пять лет спустя Кеплер встречается с Тихо Браге и благодаря ему начинает относиться с уважением к практике точного наблюдения. Его уже не удовлетворяет приблизительное совпадение между наблюдаемыми астрономическими данными и схемой, приведенной в «Космографической тайне». Вне всякого сомнения, Кеплер всегда относился к этой своей работе с любовью и в «Рассуждении о Звездном Вестнике» (1610) даже выражал надежду, что только что открытые Галилеем луны Юпитера могут помочь ему восполнить те пробелы, которые имеются в его геометрической модели. Однако он понимал, что

необходим совершенно иной подход. И тогда он обращается к новой концепции Вселенной. В процессе работы над «Новой астрономией» (1605) Кеплер так обозначает свою программу:

«Я много занимаюсь изучением физических причин. Моя цель состоит в том, чтобы показать, что небесная машина должна быть похожа не на божественный организм, а скорее на часовой механизм... поскольку почти все разнообразные движения вызываются с помощью одной-единственной и весьма простой магнитной силы, так же как и в случае часового механизма, когда все движения [вызываются] простым грузом. Более того, я показываю, каким образом физическая концепция должна быть представлена посредством вычислений и геометрии»⁹.

Небесная машина, приводимая в движение одной-единственной земной силой, подобна часовому механизму! Поистине пророческая мысль! Показательно, что опубликованная в 1609 г. «Новая астрономия» имеет подзаголовок «Небесная физика». Эта книга известна главным образом тем, что в ней содержатся первый и второй законы Кеплера относительно движения планет, однако в ней содержится и первая попытка найти единый универсальный закон сил для объяснения движения планет, в частности Марса, а также тяготения и приливов. Захватывающая концепция единства, возможно, еще более поразительна, чем та, которую выдвинул Ньютон, по той простой причине, что Кеплер не имел предшественников.

ФИЗИКА НЕБЕСНОЙ МАШИНЫ

Первое, что понял Кеплер, — то, что силы между телами определяются не их относительным положением или их геометрическим расположением, как это принималось Аристотелем, Птолемеем и Коперником, а механическим взаимодействием между материальными объектами. Уже в «Космографической тайне» (глава 17) он объявил, что «*nullum punctum, nullum centrum grave est*»*, и привел пример притяжения между магнитом и куском железа. В книге Уильяма Джилберта «О магните» (1600), опубликованной пять лет спустя, Кеплер нашел подробное объ-

* «Точка — ничто; ничто же не может быть центром тяжести». — *Прим. перев.*

испение тому факту, что, хотя действие магнита кажется сосредоточенным в точках полюсов, тем не менее оно должно быть приписано частям тела, а не его точкам.

В эмоциональных «Опровержениях», которыми Кеплер сопроводил свой собственный перевод трактата Аристотеля «О небе» (*Περὶ οὐρανοῦ*), он провозглашает: «Центр есть всего лишь крошечная точка» (*Das Mittele is nur ein Döpfplin*) и разъясняет это утверждение следующим образом: «Как может Земля или ее естество заметить, распознать и стремиться к центру мира, который всего лишь крошечная точка [*Döpfplin*], а потом двигаться к нему? Земля не ястреб, и центр мира не пташка; и он [центр] не магнит, который может притягивать Землю, поскольку он лишен субстанции, а следовательно, не может вызывать действие силы».

Во Введении к «Новой астрономии», которое мы рассмотрим теперь более детально, Кеплер выражается совершенно определенно: «Математическая точка — будет ли это центр мира или нет — не может воздействовать на тяжелый предмет и притягивать его... Пусть физики [приверженцы Аристотеля] докажут, что такая сила может быть приписана точке, которая не является материальной и не может быть понимаема иначе как чистое обозначение [знак]».

Таким образом, необходимо «истинное учение относительно тяжести», а определяющие его аксиомы заключаются в следующем: «Тяготение состоит во взаимном телесном стремлении соответствующих тел к союзу или связи (такого же порядка и магнитная сила)».

Это предвосхищение понятия всемирного тяготения никоим образом нельзя рассматривать как какой-то изолированный пример счастливой интуиции. Нет, кеплеровское чувство физической ситуации является поразительно сильным и значительным, о чем свидетельствуют приведенные ниже аксиомы:

«Если бы Земля не была круглой, тяжелое тело вынуждено было бы двигаться не отовсюду к центру ее, а из различных мест — к разным ее точкам.

Если бы в любое заданное место Вселенной пришлось перемещать два камня, расположенных близко друг к другу, но находящихся вне поля силы [*extra orbe virtutis*] третьего тела, тогда они пришли бы в некоторый промежуточный пункт вместе, подобно двум магнитным телам,

причем путь, по которому первый приближается ко второму, пропорционален массе [moles] второго».

А после такого замечания, содержащего в себе зачатки закона сохранения количества движения, следует первая попытка правильно объяснить явление приливов — с помощью силы притяжения Луны.

Однако ахиллесовой пятой небесной физики Кеплера была содержащаяся в первой «аксиоме» аристотелевская трактовка закона инерции, когда инерция отождествляется со стремлением прийти к состоянию покоя: *causa privativa motus* (причина отсутствия движения).

«Вне поля сил другого тела каждая телесная субстанция, поскольку она является материальной, по своей природе стремится остаться в том же самом месте, в котором она находится»¹⁰.

Эта аксиома лишает Иоганна Кеплера представлений о массе и силе как основных инструментах преобразования небесной метафизики древних в небесную физику нового времени. Без этих представлений вселенская машина Кеплера была обречена. И ему пришлось вводить отдельные силы для тангенциального движения планет по их орбитам и для радиальной компоненты движения.

Более того, он предполагает, что сила, которая протекает от Солнца и обуславливает тангенциальное движение, уменьшается обратно пропорционально расстоянию. Весьма интересны происхождение и следствия этого предположения. В главе 20 «Космографической тайны» Кеплер рассуждает о том, почему сидерические периоды обращения, согласно гипотезе Коперника, должны быть больше для более удаленных планет и какой закон сил может быть ответствен за это:

«Мы должны принять одно из двух предположений: или силы движения [animae motrices] [присущи самим планетам] и являются тем более слабыми, чем дальше удалены от Солнца, или же существует только одна такая сила в центре орбит, т. е. в Солнце. Она действует тем более неистово, чем ближе расположено [движимое] тело; ее действие на более удаленные тела уменьшается в зависимости от расстояния [и соответственного] уменьшения импульса. Поскольку Солнце содержит и источник света, и центр орбит, то равным образом к тому же Солнцу можно свести также жизнь, движение и душу Вселенной... Теперь посмотрим, как же это уменьшение происходит. Для этого

предположим — и это весьма вероятно, — что движущая способность ослабевает, распространяясь от Солнца тем же самым образом, что и свет».

Этот соблазнительный образ — со всеми своими важными нюансами, которые мы обсудим несколько позднее, — все же не привел Кеплера к закону квадратичной обратной пропорциональности, поскольку он полагал, что свет распространяется *в плоскости*, соответствующей плоскости планетарных орбит. В таком случае получается, что уменьшение интенсивности света связано с линейным увеличением длин окружностей для более удаленных орбит! В своей доньютоновой физике, где сила пропорциональна скорости, а не ускорению, Кеплер использует обратную пропорциональность первой степени расстояния для закона тяготения. Это именно то, что ему было нужно, чтобы объяснить свои наблюдения, согласно которым скорость планеты на эллиптической орбите убывает линейно с увеличением ее расстояния от Солнца. Таким образом, второй закон Кеплера для движения планет, который он на самом деле открыл *раньше* так называемых первого и третьего законов, находит свое частичное физическое объяснение в соответствии некоторым ошибочным постулатам.

В действительности из контекста ясно видно, что именно эти постулаты навели Кеплера на мысль о втором законе¹¹. Однако не всегда все так хорошо кончается. Безусловно, гипотеза относительно физических сил, действующих на планеты, серьезно задержала Кеплера на пути к открытию закона эллиптических орбит (первого закона). Показав, что «путь планеты [Марс] не круг, а овальная фигура», он пытается (глава 45 «Новой астрономии») найти детали закона физической силы, которые могли бы дать количественное объяснение «овальной» орбиты. Но после десяти глав утомительных рассуждений он признается, что «таким образом, [поиски] физических причин в 45-й главе ни к чему не привели». Затем, в знаменательной 47-й главе делается последняя отчаянная попытка сформулировать закон силы. Кеплер даже отваживается ввести представления о магнитных влияниях и животных силах [*vis animalia*], действующих сообща в системе планет. Конечно, эта попытка терпит поражение. Безукоризненная небесная машина, работающая наподобие часового механизма, не может быть сконструирована.

Безусловно, Кеплер не отказался от своего убеждения, что универсальная сила, родственная магнетизму, во Вселенной существует. Например, в книге 4 «Краткого изложения коперниканской астрономии» (1620) мы встречаем описание Солнца как сферического магнита, у которого один полюс находится в центре, а другой распределен по поверхности сферы. В таком случае получается, что планета, сама намагниченная, подобно плоскому магниту, попеременно то притягивается, то отталкивается от Солнца при движении вдоль своей эллиптической орбиты. Это сделано для того, чтобы объяснить радиальную компоненту движения планет. Тангенциальное движение первоначально объяснялось (в главе 34 «Новой астрономии») как результат действия вращающего момента, который вызывают магнитные силовые линии, исходящие от вращающегося Солнца, в то время как планеты проносятся мимо него. Но картина остается и качественной, и неполной, и Кеплер не возвращается к своему первоначальному плану — «показать, как эта физическая концепция может быть представлена посредством вычисления и геометрии»⁹. Даже в результате долгого и упорного труда ему так и не удалось сколько-нибудь значительно продвинуться в понимании существа дела. Галилей упоминает работу Кеплера в своем рассуждении о системах мира только для того, чтобы посмеяться над его утверждением¹², что Луна вызывает приливы, хотя в то же время и данные Тихо Браге, и основанные на них работы Кеплера показали, что схема Коперника, которую столь горячо защищал Галилей, не соответствует экспериментальным фактам относительно движения планет. Ньютон также обошел молчанием имя Кеплера в I и II книгах «Начал», причем третий закон он вводит анонимно как «явление степени $3/2$ », а первый и второй законы — как «коперниканские гипотезы»¹³. В результате оказывается, что три закона Кеплера рассматриваются исключительно как эмпирические правила. Как далеко это представление от его первоначального замысла!

ПЕРВЫЙ КЕПЛЕРОВСКИЙ КРИТЕРИЙ РЕАЛЬНОСТИ: ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ ПРИРОДЫ

Оставим на время в стороне тот факт, что Кеплеру не удалось построить механическую модель Вселенной и зададимся вопросом, почему вообще он взялся за это

дело. Ответ состоит в том, что Кеплер (в гораздо большей степени, чем Галилей) пытался дать понятию реальности новую философскую интерпретацию. Более того, он был хорошо осведомлен о новизне и трудности этой сложной задачи.

По его собственным словам, он хотел «вместо теологии или метафизики Аристотеля создать философию или физику небесных явлений»¹⁴. Современники Кеплера в основном относились к его намерению ввести в астрономию физические законы как к новой, но бессмысленной затее. Даже Михаэль Местлин, любимый учитель Кеплера, познакомивший его с теорией Коперника, писал ему 1 октября 1616 г.: «Относительно движения Луны вы пишете, что все неравенства свели к физическим причинам; этого я не вполне понимаю. Я думаю, что скорее, наоборот, следует выводить физические причины из этих данных, а также объяснять астрономические явления посредством астрономических методов и с помощью астрономических, а не физических причин и гипотез. То есть вычисления требуют астрономического обоснования в области геометрии и арифметики...»

Разница между кеплеровской концепцией «физических» проблем астрономии и методологией его современников ясно проявляется при сопоставлении показательных в этом смысле писем двух величайших астрономов того времени, а именно Тихо Браге и самого Иоганна Кеплера.

Тихо в письме к Кеплеру от 9 декабря 1599 г. повторяет мысли, которые занимали астрономов в течение двух тысячелетий: «Я не отвергаю того, что небесные движения приобретают некоторую симметрию [благодаря коперниканской гипотезе] и что существуют причины, по которым планеты обращаются вокруг того или иного центра на разных расстояниях от Земли или Солнца. Однако гармония или регулярность схемы должна быть открыта только *a posteriori*... И даже если какому-нибудь озадаченному и безрассудному человеку покажется, что на небесах накладывающиеся круговые движения производят временами угловатые или иные, большей частью вытянутые фигуры, то это происходит случайно, и разум должен в ужасе отшатнуться от такого предположения. Ибо совершенно ясно, что обращения небесных объектов необходимо составлять из круговых движений, в противном

случае они не смогли бы вечно и неизменно вращаться по одной и той же орбите, и в таком случае было бы невозможным вечное существование, не говоря уже о том, что и орбиты были бы менее просты, нерегулярны и неподходящи для научного исследования».

Под этим манифестом древней астрономии могли бы, конечно, подписаться Пифагор, Платон, Аристотель и сам Коперник. Но вот Кеплер придерживался новой позиции. В его письме Д. Фабрициусу от 1 августа 1607 г. ясно звучит новый лейтмотив астрономии: *«Разница состоит только в том, что вы используете окружности, а я — присущие телам силы»*. И в том же самом письме он отстаивает использование эллипса — вместо наложения окружностей — для определения орбиты Марса. «Когда вы говорите, что нельзя сомневаться в том, что все движения совершаются по идеальным окружностям, — пишет Кеплер, — то это является ошибочным для сложных, т. е. реальных, движений. При этом объясняют, что, согласно Копернику, они происходят по орбитам, вытянутым в некоторых направлениях, а согласно Птолемею и Браге — по спиральям. Но если вы говорите о компонентах движения, значит, говорите о том, что существует только в мыслях, т. е. о том, чего реально не существует, поскольку на небесах ничего нет, кроме самих планетных тел: ни орбит, ни эпициклов...»

Это прямое и звучащее по-современному высказывание предполагает, что под словом «реальный» подразумевается «механический», что для Кеплера реальный мир — это мир объектов и их механических взаимодействий в том же самом смысле, в каком Ньютон говорит, например, в предисловии к «Началам»: «Так, из этих [гравитационных] сил и посредством других утверждений, которые являются чисто математическими, я вывел движения планет, комет, Луны и моря. Жаль, что мы не можем вывести остальные явления природы из механических принципов посредством рассуждений подобного рода...»¹⁵.

Итак, мы поддаемся искушению рассматривать Иоганна Кеплера как философа механистического толка, какими впоследствии считались ученики Ньютона. Но это впечатление обманчиво. В действительности после неудачи своей программы в «Новой астрономии» Кеплер рассматривал себя иначе. Хотя, по-видимому, он этого и не осознавал, однако так никогда и не решил окончательно, на

каком уровне следует искать критерий реальности — на *физическом* или на *метафизическом*. Сами слова «реальный» или «физический» в том смысле, как они использовались Кеплером, содержали два возможных способа интерпретации. Так, получив письмо Местлина от 1 октября 1616 г., Кеплер кратко записал на полях свое собственное определение понятия физического: «Я называю свою гипотезу физической по двум причинам... Моя цель состоит в том, чтобы предполагать только такие вещи, относительно которых я не сомневаюсь, что они реальны, а следовательно, физичны, что необходимо сослаться на природу неба, а не элементов. Когда я отвергаю идеальные эксцентрики и эпициклы, я поступаю так потому, что они являются чисто геометрическими предположениями, для которых на небесах нет соответствующего тела. Вторая причина, по которой я называю свою гипотезу физической, такова... я доказываю, что нерегулярность движения [планет] соответствует природе планетарной сферы, т. е. является физической».

Таким образом, на тему *природы* небес накладывается тема *природы* тел. В таком случае как же теперь узнать, находится ли данный постулат или концепция в согласии с природой вещей?

Этот вопрос — главный, и Кеплер в одно и то же время дает на него два совершенно различных ответа, как если бы они возникли из двух разных частей его души. Один из этих ответов можно было бы перефразировать следующим образом: *физически реальный мир, который определяет природу вещей, представляет собой мир явлений, допускающих объяснение, исходя из механических принципов*. Это определение может быть названо первым кеплеровским критерием реальности; оно предполагает возможность формулирования широкой и согласованной динамической теории, которую Кеплер только предчувствовал, но которая не была сформулирована до появления ньютоновских «Начал». Другой ответ Кеплера, к которому он возвращался снова и снова, когда из-за несовершенства динамики его постигали неудачи, таков: *физически реальный мир — это мир математически выраженной гармонии, которую человек может обнаружить в хаосе событий*. Это определение мы теперь и обсудим по возможности более подробно.

ВТОРОЙ КЕПЛЕРОВСКИЙ КРИТЕРИЙ РЕАЛЬНОСТИ — МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ГАРМОНИЯ ПРИРОДЫ

Неудача Кеплера в построении небесной физики (*Physica Coelestis*) не отразилась на его концепции астрономической Вселенной. И для человека такого уровня было бы, конечно, странно, если бы у него не было готовой альтернативы механистическому взгляду на вещи. Он очень редко чувствовал себя действительно обеспокоенным из-за несостоятельности механистического подхода, как это было, например, когда для объяснения движения планет по их орбитам ему пришлось прибегнуть к понятиям врожденного разума или души. Вместе с тем характерно, что Кеплер не был слишком уж расстроен, когда период вращения Солнца, который он постулировал в своей физической модели, оказался совершенно отличным от истинного периода его вращения, определенного по смещению солнечных пятен. Дело здесь, по-видимому, в том, что Кеплер, несмотря на все свои заявления, вовсе не был столь горячим приверженцем механического объяснения небесных явлений в том смысле, каким им был, например, Ньютон. Для него всегда оставался открытым другой путь.

Второй критерий, второй ответ Кеплера относительно природы физической реальности имел своим происхождением тот же самый источник, что и его первоначальный интерес к астрономии и его очарованность Вселенной, допускающей математическое описание, а именно это была достославная метафизика, уходящая своими корнями в труды Платона и неоплатоников, вроде Прокла Диадоха. Это был критерий *гармоничной регулярности описательных законов науки*. Его нельзя сбрасывать со счетов как просто возрождение старой доктрины или как эстетическое требование, справедливое и для современного научного исследования; представление Кеплера о том, что значит «гармоничное», было гораздо более широким и значительным.

Конкретным примером здесь опять-таки может служить второй закон, «закон равных площадей». Согласно Тихо Браге, Копернику и великим греческим астрономам, гармоничная регулярность поведения планет должна была состоять в равномерном движении по окружностям. Но Кеплер в результате долгих сомнений пришел к выводу,

что орбиты являются эллипсами, по которым планеты движутся неравномерно. Фигура получилась кривобокая. Скорость изменяется от точки к точке. И тем не менее внутри этой двойной несурaziцы таится гармоничная регулярность, которая приводит в восторг своего восхищенного первооткрывателя. А именно выясняется факт, что линия, проведенная от Солнца, находящегося в фокусе эллипса, к планете, движущейся по нему, замечает равные площади в равные промежутки времени. Для Кеплера этот закон является гармоничным в трех различных смыслах.

Во-первых, *он соответствует опыту*. В то время как Кеплеру, несмотря на долгие и мучительные усилия, не удалось привести классическую схему суперпозиции окружностей в соответствие с точными наблюдениями движения Марса, проведенными Тихо, эллиптическая орбита сразу же удовлетворила этим наблюдениям. «Гармония должна соответствовать опыту»¹⁶ — таков был девиз Кеплера. Как же это было тяжело для Кеплера — пифагорейца до мозга костей — предпочесть эллипсы окружностям! Для зрелого ученого обнаружить в процессе своей работы необходимость отказаться от взлелеянных и прочно укоренившихся предпосылок, от самой основы своих предыдущих работ для того, чтобы удовлетворить требованиям количественного эксперимента, — это было, возможно, одним из величайших жертвенных актов новой науки, который можно сравнить со страданиями Макса Планка в науке нашего времени. Ясно, что силу для такого поступка Кеплер черпал в вере, которая помогла ему еще глубже проникнуть в гармонию Вселенной.

Второй причиной для рассмотрения этого закона как гармоничного является наличие (или открытие) *постоянства*, хотя это больше уже не постоянство просто угловой скорости, а постоянство «поверхностной» скорости. Типичным законом античной физики был архимедовский закон рычага — соотношение между непосредственно наблюдаемыми объектами при статическом расположении (равновесии). Даже в мировых системах Коперника и кеплеровской «Космографической тайны» их авторы вынуждены были прибегнуть к зрительным образам в виде набора закрепленных концентрических сфер. Вспомним также, что Галилей никогда не прибегал к использованию кеплеровских эллипсов, а оставался истинным последователем Коперника, который говорил, что «разум содрогается» при

мысли о возможности некругового неравномерного движения небесных тел и что «было бы недостойно предполагать такую вещь в Творении, осуществленном наилучшим из возможных образом».

С введением первого закона Кеплера и постулата об эллиптичности орбит старое понятие простоты было разрушено. Второй и третий его законы установили физический закон постоянства в качестве руководящего принципа в изменяющихся ситуациях. Как и понятия количества движения и теплоты в позднейших законах сохранения, сама «поверхностная» скорость также является понятием, весьма далеким от того, что можно наблюдать непосредственно. Следовательно, это был смелый шаг в поисках гармонии, которая бы выходила за пределы как непосредственного восприятия, так и сложившихся представлений.

В-третьих, рассматриваемый закон был гармоничным во всеобъемлющем смысле: закрепленная точка отсчета в этом законе равных площадей, «центр» планетарных движений есть не что иное, как центр *самого Солнца*, в то время как даже в коперниканской схеме Солнце было несколько смещено относительно центра планетарных орбит. С помощью такого открытия Кеплер сделал наконец систему планет истинно гелиоцентрической и тем самым удовлетворил своему инстинктивному и ясному требованию, чтобы существовал материальный объект, являющийся тем самым «центром», к которому в конце концов должны сводиться физические взаимодействия, удерживающие систему в надлежащем движении.

ГЕЛИОЦЕНТРИЧЕСКАЯ И ТЕОЦЕНТРИЧЕСКАЯ ВСЕЛЕННАЯ

Для Кеплера этот третий, последний фактор был источником особого воодушевления. Солнце, закрепленное в привилегированном месте, в центре системы планет, вполне соответствовало той картине мира, которая всегда стояла за спиной скучных цифр в таблицах Кеплера. Это соответствовало картине центростремительной Вселенной, которая обращена к Солнцу и управляется им, причем *Солнце* выступает в разнообразных качествах — как *математический* центр в описании небесных движений, как центральный *физический* фактор, определяющий непрерывность движения, и прежде всего как *метафизический*

центр, храм Божества. На самом же деле эти три роли неотделимы друг от друга. Из-за наличия особой простоты, достигаемой при гелиоцентрическом описании движения планет (которую был склонен допустить даже Тихо Браге), и предположения, что каждая планета должна испытывать действие силы, влекущей ее по ее собственной неизменной и вечной орбите (как думали схоласты, и Кеплер здесь ничем от них не отличался), вытекает, что общая для всех планет потребность определяется тем общим, что присуще каждой орбите, т. е. общим центром, и этот источник вечного постоянства сам должен быть неизменен и вечен. А эти качества как раз и являются в точности исключительными атрибутами Божества.

Используя характерный для него метод рассуждения при помощи архетипов, Кеплер приводит дальнейшие доводы и аналогии в пользу этого положения. Наиболее известным является сравнение мировой сферы с троицей: Солнце, находясь в центре сферы и являясь тем самым antecedentом двух других ее атрибутов — поверхности и объема, сравнимо с Богом-Отцом. Эта аналогия в различных вариантах встречается в сочинениях Кеплера повсюду, включая и многие из его писем. Образ преследовал его с самого начала (например, глава 2 «Космографической тайны») и до конца. Ясно, что это никак нельзя назвать просто «поклонением Солнцу»¹⁷. В самом крайнем случае можно было бы допустить, что Кеплер (с его бьющей через край фантазией) — поклонник всей солнечной системы в целом и каждой ее части в отдельности.

Одержимость идеей Солнца-образа может быть объяснена неоспоримым влиянием на Кеплера таких неоплатоников, как Прокл (V в.) и Витело* (XIII в.). В свое время у неоплатоников существовало представление, отождествляющее свет с «источником всего сущего» и утверждающее, что «пространство и свет — это одно и то же»¹⁸. Главным занятием неоплатоников XVI в. было, безусловно, выражаясь современным языком, преобразование свойств пространства, света и души. Открытие Кеплером истинно гелиоцентрической системы не только находится в точном согласии с концепцией Солнца как верховного существа, но и позволяет ему впервые посмотреть на местоположение Солнца с физической точки зрения.

* Польский философ и математик, автор трудов по оптике. — *Прим. перев.*

И в аристотелевской, и в неоплатонической метафизике, и в средние века Бог в астрономии, как правило, помещался или за последней небесной сферой, или повсюду в пространстве, поскольку только эти две возможности и обеспечивали для Божества «место», относительно которого были бы равнозначными все небесные движения. Однако Кеплер выбрал третью возможность: в истинно гелиоцентрической системе Бог мог быть помещен внутри самой солнечной системы, воцарившись, так сказать, на фиксированном и общем для всех объекте, который совпадает с источником света и источником физических сил, удерживающих систему планет вместе. В книге «Об обращениях небесных сфер» (*De revolutionibus orbium coelestium*) Коперник краешком глаза увидел этот образ и, описывая устройство планетной системы, заметил: «В середине всего, не двигаясь, покоится Солнце. Действительно, кто в этом наипрекраснейшем храме не поместил бы источник света в то место, откуда он смог бы освещать все остальное!» Однако и Коперник и Кеплер прекрасно знали, что коперниканское Солнце находится не совсем «в середине всего». Отсюда понятна радость Кеплера, когда он нашел — и это было одно из самых ранних его открытий, — что плоскости орбит всех планет пересекаются в месте нахождения Солнца.

Тройственность гелиоцентрического образа как математического, физического и метафизического центра помогает понять, почему Кеплер был им так очарован. Как сказал Вольфганг Паули в своей интереснейшей работе о творчестве Кеплера как о ключевом моменте изучения «происхождения и развития научных представлений и теорий», именно здесь и находится мотивационная основа: «Поскольку Солнце и планеты он рассматривал на фоне этого фундаментального образа [*archetypische Bild*], он верил в гелиоцентрическую систему с религиозной страстностью. Именно эта вера и «привела его к поискам истинных законов о соотношениях, имеющих место при движении планет...»¹⁹.

Подводя итог, можно сказать, что в своей окончательной редакции *кеплеровская физика была гелиоцентрической по своей кинематике, но теоцентрической по динамике*, в которой гармония основывалась, в частности, на способности Божества обуславливать дополнительные физические законы, основывающиеся на концепции специфич-

ческих количественных сил. Эта отличительная черта физики Кеплера наиболее ярко проявляется в его последнем великом творении — в «Гармонии мира» (1619). Так называемый третий закон Кеплера вводится без всякой попытки вывести его из механических принципов, в то время как в «Новой астрономии» магнитные линии движут или даже завладевают планетами. Как и в самой ранней своей работе, он показывает здесь, что явления природы обнаруживают лежащую в их основе математическую гармонию. Не сумев найти механические движители мировой машины, он смог по крайней мере дать уравнения ее движения.

ИСТОЧНИК КЕПЛЕРОВСКИХ ГАРМОНИЙ

Будучи неспособными отождествить астрономические работы Кеплера с физической наукой в ее современном смысле, многие склоняются к тому, чтобы отнести его по другую сторону воображаемой линии, разделяющей классическую и современную науку. Прежде всего, необходимо выяснить, существует ли столь большой разрыв между гармонией, которую древние находили в круговом движении и в рациональных числах, и гармонией, которую Кеплер видел в эллиптическом движении и в пропорциональности экспоненте? Не является ли это просто обобщением установившейся точки зрения? На оба эти вопроса следует дать отрицательный ответ. И для древних, и для большинства современников Кеплера рука Божества проявлялась в природе посредством законов, которые хотя и не были количественными, но были гармоничными, причем их гармоничность была довольно самоочевидной. Аксиоматическая простота кругов, сфер и их наборов уже сама по себе доказывала их связь с божественным. Однако гармония Кеплера основывалась именно на том факте, что брались *количественные* соотношения, причем это были не какие-то отдельные простые *формы* количественных соотношений.

Как раз в этом и заключается различие, которое мы сейчас можем отождествить с одним из поворотных пунктов на пути к новому, современному представлению относительно математических законов в науке. Если в классическом (читай — в античном. — Перев.) понимании количественное определение взаимодействий в природе

Было ограничено узким кругом потребностей, то новый подход, какова бы ни была его метафизическая подоплека, открывал воображению бесконечное множество возможностей. Из этого непосредственно вытекало, что там, где классическая мысль использовала количественные результаты эксперимента главным образом для того, чтобы заполнить данную матрицу, исходя из априорной необходимости, новый подход позволял результатам эксперимента обнаруживаться самим по себе, вне зависимости от того, какая модель природы в действительности была выбрана из бесконечного набора возможностей. Таким образом, были созданы условия для возникновения точки зрения, характерной для большинства современных ученых, которые понимают мировую гармонию в некотором эстетическом смысле, поскольку рассудок способен обнаружить порядок, присущий хаосу событий и выраженный в форме математических законов, какими бы ни были сами эти законы. Как справедливо было сказано в одной из книг о творчестве Кеплера: «Гармония больше не заключается в числах, которые могут быть взяты из арифметики, игнорируя процесс наблюдения. Гармония — это уже и не свойство, присущее кругу в большей степени, чем эллипсу. Гармония возникает тогда, когда многообразие явлений упорядочивается при помощи единого математического закона, выражающего космическую идею»²⁰.

Вероятно, то, что гармония математического закона основывается сейчас на эстетике, а не на метафизике, является неизбежным для прогресса современной науки. Однако сам Кеплер вряд ли смог бы предложить такое обобщение или даже согласиться с ним. Фундамент, на основе которого он провозглашал, что гармония определяется количественными соотношениями в природе, составляла та самая метафизика, с помощью которой он смог преодолеть неудачу в построении своей физической динамики солнечной системы. В самом деле, источник этого представления так же стар, как и сама натурфилософия — *связь количества с Божеством per se*. Более того, как теперь можно показать, Кеплер придерживался взгляда, что способность человека обнаруживать гармонию, а следовательно, реальность в хаосе событий обуславливается непосредственной связью между первоприродой, а именно богом и разумом человека.

В одном из своих ранних писем Кеплер так открывает нам этот основной источник своего творчества: «Может быть, Господь Бог допустит, чтобы мои восторженные рассуждения [«Космографическая тайна»] повсюду возымели на разумных людей то самое действие, которое я и пытался достичь при их опубликовании, а именно чтобы вера в создание мира укреплялась благодаря этим внешним доказательствам, чтобы мысль Творца распознавалась в природе и чтобы Его неисчерпаемая мудрость светила день за днем все более ярко. Тогда наконец человек будет измерять силу своего разума по истинной мерке и поймет, что *Бог, который создал все в этом мире в соответствии с количественными нормами, также наделил человека разумом, который может постичь эти нормы.* Поэтому, подобно тому как глаз [создан] для цвета, ухо — для музыкального звука, так и человеческий разум создан для восприятия не столько произвольных существей, сколько количеств: разум постигает ту или иную вещь тем более правильно, чем ближе приближается она к чистому количеству — источнику своего происхождения»²¹.

С первого взгляда в этих словах можно увидеть парафраз старого платоновского принципа, бог всегда занимается геометрией (*ὁ θεὸς ἀεὶ γεωμετετ*); и, конечно же, Кеплер твердо верил в «творца, являющегося истинной первопричиной геометрии, который, по словам Платона, всегда ею занимается»²². Безусловно, Кеплер — платоник; и, более того, его можно рассматривать одновременно как последователя двух неоплатонических традиций, одну из которых следует назвать неоплатонической, а другую — пифагорейской; первой следовали математические физики вроде Галилея, а второй — математики-мистики Флорентинской академии. Но кеплеровский Бог сделал нечто большее, чем просто построил мир на основе математической модели. Он также специально создал человека наделенного разумом, который «содержит в себе представления, построенные на категориях количества», *для того чтобы человек мог непосредственно общаться с Божеством:*

«Те законы, [которые управляют материальным миром], лежат в пределах понимания человеческого разума. Создавая нас по своему подобию, Бог хотел, чтобы мы были способны их воспринять и чтобы могли разделить с ним его собственные мысли... Наше знание [относительно чи-

сел и величин] того же самого рода, что и божие, по крайней мере постольку, поскольку мы можем понять хотя бы что-нибудь в течение этой бренной жизни»²³.

Процедура, с помощью которой можно постигнуть гармонию, совершенно четко описана в главе 1 книги 4 «Гармонии мира». Есть два вида гармонии, а именно гармония в смысле явления, которую представляет, например, музыка, и «чистая» гармония, которая «создана на основе математических представлений». Чувство гармонии возникает, когда получается, что обнаруживаемый порядок совпадает с соответствующим врожденным архетипом [archetypus, Urbild]. Сам архетип является частью сознания Бога и вносен в человеческую душу Божеством, когда оно создавало человека по своему подобию. Сходство с платоновской доктриной идеальных форм здесь очевидно. Но в то время, как, согласно обычной интерпретации, эти формы ищутся вне человеческой души, кеплеровские архетипы находятся внутри нее. Как он говорит, подводя итог дискуссии, душа содержит «не подобие истинного образца [paradigma], а сам истинный образец... Таким образом, в конце концов сама гармония становится всецело душой, более того — Богом»²⁴.

Это — последнее оправдание кеплеровских поисков математической гармонии. Исследование природы становится исследованием мысли Бога, которого мы можем постичь благодаря языку математики. *Mundus est imago Dei corporea* (мир есть телесный образ Бога), так же как, с другой стороны, *animus est imago Dei incorporea* (душа есть бестелесный образ Бога). Итак, кеплеровский обобщенный принцип выяснения мира явлений есть не просто концепция механических сил, а Бог, выражающий себя в математических законах.

ДВА БОЖЕСТВА КЕПЛЕРА

В заключение можно добавить несколько слов относительно психологической ориентации Кеплера. Следует помнить, что первоначальной целью Кеплера была не наука. Он был сначала студентом философии и теологии Тюбингенского университета; и только за несколько месяцев до того, как стать священником, он внезапно — и притом с сожалением — узнал, что университетские власти решили направить его учителем математики и астрономии в

Гридц. Годом позже, уже работая над «Космографической тайной», Кеплер писал: «Я хотел стать теологом; долгое время я не находил себе места, теперь, однако, вижу, что благодаря моим усилиям Бог прославляется и в астрономии»²⁵. А в последних своих сочинениях он неоднократно упоминает об астрономах как о служителях Божества в книге природы.

Начиная с самых ранних своих сочинений и до конца жизни Иоганн Кеплер сохранял направленность и интенсивность своих религиозно-философских интересов. Вся его жизнь была проникнута бескомпромиссной набожностью; он постоянно боролся за то, чтобы поддержать свои глубокие и часто неконформистские убеждения в религии и науке. В суматохе контрреформации и в начале Тридцатилетней войны, перед лицом жестоких испытаний он никогда не шел на компромисс в вопросе веры. Изгнанный из лютеранской общины за его нескрываемый индивидуализм в религиозных вопросах, изгнанный из своего дома и со службы в Граце — за отказ присоединиться к римско-католической церкви, он, по-видимому, со всей откровенностью выражал свои убеждения, когда писал: «Я отношусь к религии серьезно; я не играю с этим»²⁶; или: «Во всей науке не существует ничего такого, что могло бы удержать меня от принятия какого-либо взгляда; ничто не могло бы препятствовать открытому провозглашению моей точки зрения, кроме только авторитета Святой Библии, которая многими несправедливо истолковывается»²⁷.

Однако, как вновь и вновь показывают его труды, в глубине души Кеплер относился к этому вопросу двойственно. Ибо сразу же за лютеранским Богом, открывающимся ему непосредственно в словах Библии, стоял пифагорейский Бог, воплощенный в доступной наблюдению непосредственности природы, а также в математической гармонии солнечной системы, устройство которой Кеплер сам проследил, — Бог, «которого я могу распознать при созерцании Вселенной, как если бы она была создана моими собственными руками»²⁸.

Это высказывание поразительно к месту: пронизательность Кеплера была столь глубока, что абстрактное сливалось в нем с конкретным. Здесь-то и содержится ключ к загадке Кеплера, объяснение кажущихся трудностей и несоответствий в его сочинениях и поступках. В едином

ослепительном образе Кеплер увидел три основные темы или космологические модели, налагающиеся друг на друга: *вселенную как небесную машину, вселенную как математическую гармонию и вселенную как образец всеобщего теологического порядка.* Это было представление, в котором гармония была взаимозаменяема по отношению к силам и в котором геоцентрическая идея вселенной приводила к результатам принципиальной важности для возникновения новой науки.

1. Книги 4 и 5 "Epitome of Copernican Astronomy" и книга 5 "Harmonies of the World".— In: "Great Books of the Western World". Chicago: Encyclopedia Britannica, 1952, v. 16.

2. Исчерпывающей биографией Кеплера является книга, написанная выдающимся исследователем его творчества Максом Каспаром (Caspar M. Johannes Kepler. Stuttgart, 1950), которая в конце 50-х годов была издана в переводе на английский язык: «Kepler». New York, Abelard-Schuman, 1959. Небольшие, но полезные статьи можно найти в книге «Johann Kepler, 1571—1630» (сборник статей, подготовленный под наблюдением Общества истории науки и Американской ассоциации содействия прогрессу науки), (Baltimore, Williams & Wilkins Co., 1931). После того как была написана эта статья, появилось еще несколько важных публикаций о Кеплере.

3. Однако можно сказать, что «Оптика» Ньютона, особенно в последних ее разделах, напоминает стиль Кеплера. Например, в книге 2 (часть IV, наблюдение 5) содержится попытка связать части светового спектра с «разницами длин монохорда, звучащего тонами октавы».

4. Письмо к Давиду Фабрициусу (David Fabricius) от 11 октября 1605 г.

5. Письмо к Херварту фон Хойенбургу (Herwart von Hohenburg) от 26 марта 1598 г., т. е. за семь лет до того, как Стевин показал невозможность вечного движения в "Pyroptemata Mathematica" (Leyden, 1605). Некоторые из наиболее важных писем Кеплера собраны в книге: Caspar M. and Dyck W. von. Johannes Kepler in seinen Briefen. Munich and Berlin, 1930. Более полное собрание писем на языке оригинала можно найти в томах 13—15 современного издания собрания сочинений Кеплера: "Johannes Keplers gesammelte Werke", ed. Dyck W. von and Caspar M., Munich, 1937 и позднее. В прошлом при изучении творчества Кеплера и его взглядов, по-видимому, на эти письма мало обращалось внимание. (Английский перевод всех приводимых здесь цитат из его писем сделан самим автором.) Выдержки из писем Кеплера были также переведены на английский язык в книге: Baumgardt K. Johannes Kepler. New York, Philosophical Library, 1951.

6. Goldbeck E. Abhandlungen zur Philosophie und ihrer Geschichte.— In: "Keplers Lehre von der Gravitation". Halle, Max Niemeyer, 1896, v. VI. Это полезная монография, показывающая Кеплера как провозвестника механистической астрономии. Ссылка да-

ется на первое издание “De Revolutionibus”, р. 3. [Главное утверждение, с которым было бы бесполезно спорить, состоит в том, что при описании явлений Коперник все же иногда рассматривал Землю иначе, чем другие планеты.]

7. В предисловии к «Diotrica» (1611) Кеплер называет свое раннее произведение — “Misterium Cosmographicum” — «некоей комбинацией астрономии и геометрии Евклида» и описывает его характерные черты следующим образом: «Я принял размеры планетарных орбит в соответствии с астрономией Коперника, который в центр поставил неподвижное Солнце, а Землю сделал вращающейся как вокруг Солнца, так и вокруг своей оси; и я показал, что различия в орбитах планет соответствуют пяти правильным пифагорейским фигурам, которые уже были распределены их автором среди элементов Вселенной; хотя эта попытка и была достойной восхищения, она не была ни удачной, ни законной...» Схема из пяти описанных правильных тел первоначально представлялась Кеплеру причиной наблюдаемого числа планет (и орбит): “Habes rationem numeri planetarium” («число планет имеет причину»).

8. Kepler J. Die Zusammenklänge der Welten. Otto J. Bryck, trans. and ed., Jena, Diederichs, 1918, p. XXIII.

9. Письмо Херварту фон Хойенбургу от 10 февраля 1605 г. Приблизительно в это же время Кеплер писал в том же духе Христиану Северину Лонгомонтапу относительно связи между физикой и астрономией: «Я полагаю, что обе науки столь тесно взаимосвязаны, что не могут быть полными одна без другой».

10. Ранее Кеплер обсуждал притяжение Луны в письме к Херварту от 2 января 1607 г. Относительное движение двух изолированных объектов и понятие инерции рассматриваются в письме к Д. Фабрициусу от 11 октября 1605 г. Об этом см.: Коуриг А. Galileo and the Scientific Revolution of the Seventeenth Century.— In: “The Philosophical Review”, 52, № 4, 1943, p. 344—345.

11. Ошибочны были не только сами постулаты, но и некоторые детали их использования в рассуждении. Краткое обсуждение этого примера использования Кеплером физики для нужд астрономии см.: Дрейер Джон Л. E. History of the Planetary System from Thales to Kepler. New York, Dover Publications, 1953, 2nd ed., p. 387—399. Более подробное обсуждение см. в: Каспар М. Johannes Kepler, neue Astronomie. Munich and Berlin, 1929, p. 3*—66*.

12. Santillana G. de (ed.). Dialogue on the Great World Systems. Chicago, University of Chicago Press, 1953, p. 469. Однако косвенный комплимент третьему закону Кеплера может быть усмотрен на с. 286.

13. Сажори Ф. (ed.). Newton’s Principia: Motte’s Translation Revised”. Berkly, University of California Press, 1946, p. 394—395. В книге III Ньютон замечает относительно того факта, что третий закон применим к лунам Юпитера: «Это мы знаем из астрономических наблюдений». Наконец, на с. 404 он отдает должное Кеплеру за то, что тот был «первым, кто увидел», что закон степени $3/2$ применим к пяти первым планетам и Земле. В действительности Ньютон был в большом долгу перед Кеплером, что лучше всего выражено в его письме к Галлею от 14 июня 1686 г.: «А что касается двойной пропорции [закона обратной квадратичной пропорциональ-

ности для тяготения], я могу подтвердить, что взял его из теоремы Кеплера около двадцати лет назад».

14. Письмо к Иоганну Бренггеру от 4 октября 1607 г. Эта картина, изображающая человека, который пытается выйти за пределы аристотелевской традиции, является для Кеплера — последователя Коперника во Вселенной Птолемея — в такой же степени показательной, как и обычной. Строго говоря, у Кеплера с Птолемеем нет уже никакого конфликта. По этому поводу мы знаем мнение самого Кеплера («Гармония мира», книга 3): «Прежде всего, читатель должен быть уверен в том, что среди астрономов в настоящее время существует полное согласие относительно того, что все планеты обращаются вокруг Солнца...», причем, конечно, он имеет в виду систему не Коперника, а Тихо Браге, согласно которой Земля неподвижна, а движущееся Солнце является центром движения других планет.

15. См.: S a j o r y F. Op. cit., p. XVIII.

16. Kepler J. Weltharmonik, ed. Max Caspar. Munich and Berlin. R. Oldenburg, 1939, p. 55*.

17. См., например: B u r t t E. A. The Metaphysical Foundation of Modern Science. London, Routledge & Kegan Paul, 1924 and 1932, p. 47 и далее.

18. Современный анализ доктрины неоплатоников см. в книге: J a m m e r M. Concepts of Space. Cambridge, Harvard University Press, 1954, p. 37 и далее. К сожалению, в ней отсутствует детальное исследование взглядов Кеплера. В связи с Кеплером неоплатонизм обсуждается в книге: K u h n T. S. The Copernican Revolution. Cambridge, Harvard University Press, 1957.

19. P a u l i W. Der Einfluss archetypischer Vorstellungen auf die Bildung naturwissenschaftlicher Theorien bei Kepler.—In: "Naturerklärung und Psyche". Zürich, Rascher Verlag, 1952, p. 129.

Английский перевод Юнга и Паули: The Interpretation of Nature and the Psyche. New York, Pantheon Books, 1955.

20. Keiser H. Kepler als Philosoph. Stuttgart, E. Suhrkamp, 1932, p. 47.

21. Письмо к Местлипу от 19 апреля 1597 г. Весьма ярким отражением этого замечательного прецедента является в действительности «волшебно-числовая» компонента современной физической теории. См., например: B o h r N. Atomic Theory and the Description of Nature. New York, Macmillan Co., 1934, p. 103—104: «Интерпретация атомного номера [как числа орбитальных электронов] знаменует, можно сказать, важный этап на пути к осуществлению самой смелой мечты современной науки, а именно на пути к пониманию упорядоченности природы на основе рассмотрения одних только чисел».

22. "Harmonice Mundi", Book 3.

23. Письмо к Херварту от 9—10 апреля 1599 г. Позднее Галилей высказывал тот же самый принцип: «То, что пифагорейцы высоко ценили науку о числах и что сам Платон восхищался [возможностью] человеческого понимания и думал, что понимание природы чисел есть прикосновение к божественному, мне хорошо известно, и сам я не далеко ушел от подобного взгляда» (S a p t i l l a n a G. de. Op. cit., p. 14). Замечание Декарта о том, что вместо слова «бог», если оно где-нибудь используется, можно поставить

выражение «математический порядок природы», проистекает из того же источника.

24. Обсуждение кеплеровской математической гносеологии и ее отношения к неоплатонизму см.: Steck M. Über das Wesen des Mathematischen und die mathematische Erkenntnis bei Kepler. — In: "Die Gestalt". Halle, 1941, v. V. Полезный материал здесь заслонен в некоторой мере националистической риторикой. Другой интересный источник: Spreiser A. Mathematische Denkweise. Basel, Birkhäuser, 1945.

25. Письмо к Местлину от 3 октября 1595 г.

26. Письмо к Херварту от 16 декабря 1598 г.

27. Письмо к Херварту от 28 марта 1605 г. Если кто-нибудь захочет узнать, как Кеплер разрешил противоречие между авторитетом Священного писания и авторитетом научного результата, то объяснение этому он может найти именно в данном письме. «Я полагаю, — говорится в нем, — что мы должны осведомиться относительно намерений людей, которые были вдохновлены Святым Духом. За исключением первой книги Бытия, где говорится о сверхъестественном происхождении всех вещей, они никогда ничего не пытались сообщить людям относительно естественных вещей».

Эта точка зрения, позднее связываемая с именем Галилея, была развита в красноречивом вступлении Кеплера к «Новой астрономии». Соответствующие отрывки впервые были переведены в: Salusbury T. Mathematical Collections. London, 1661, Part I, p. 461—467.

28. Письмо к барону Штралендорфу от 23 октября 1613 г.

III. МАХ, ЭЙНШТЕЙН И ПОИСК РЕАЛЬНОСТИ *

В истории идей нашего века есть глава, которую можно было бы назвать «Философское паломничество А. Эйнштейна», паломничество от философии науки, центром которой являются сенсуализм и эмпиризм, к философии науки, построенной на основе рационалистического реализма. Эта статья является частью более обширного исследования¹, которое касается постепенной философской переориентации Эйнштейна, в особенности хорошо видной при изучении его научной переписки², большей частью не опубликованной.

Самое первое известное нам письмо Эйнштейна сразу вводит нас в центр проблемы. Оно датировано 19 марта 1901 г. и адресовано Вильгельму Оствальду³. Непосредственным поводом для письма Эйнштейна была его неудавшаяся попытка получить место ассистента в том самом институте, который он только что окончил, — в Цюрихском политехникуме; теперь он обращается к Оствальду с просьбой о месте в его лаборатории — в надежде иметь возможность для «дальнейшего образования». Эйнштейн приложил к письму отпечаток своей первой публикации — «Folgerungen aus den Capillaritätserscheinungen» (1901)⁴, которая, по его словам, была инициирована работами Оствальда, и в действительности «Allgemeine Chemie» Оствальда — первая книга, упоминаемая Эйнштейном в его публикациях.

Не получив ответа, Эйнштейн снова пишет Оствальду 3 апреля 1901 г. А 13 апреля 1901 г. его отец Герман Эйнштейн шлет Оствальду, очевидно без ведома сына,

* Holton G. Thematic Origins of Scientific Thought: Kepler to Einstein. Cambridge, Mass., Harvard University Press, 1973, p. 219—250.

прочувствованное послание. Герман Эйнштейн говорит, что его сын ставит Оствальда «чрезвычайно высоко среди ученых, работающих в настоящее время в физике»⁵.

То, что Эйнштейн обратился к Оствальду, является весьма показательным. В период 1890—1900-х годов — смутное время и для физики, и для философии — Оствальд представлял собой не только выдающегося химика, но также и деятельного «ученого-философа». В это время в полный голос выступали противники кинетических, механистических, а также материалистических взглядов на явления природы. Они отрицали атомную теорию и добились большого авторитета благодаря успехам термодинамики — области, где не нужно было что-то знать или делать какие-либо предположения относительно детальной природы материальных субстанций (например, для понимания работы тепловых машин).

Оствальд был главным критиком механистической интерпретации физических явлений, так же как и Хельм, Шталло и Мах. Их позитивизм — в противоположность современному логическому позитивизму Карнапа и Айера — развивал гносеологию новой, феноменологически обоснованной науки связанных между собой наблюдений, которая тесно соприкасалась с энергетикой и сенсуализмом. Во втором (1893) издании своего солидного учебника по химии Оствальд отказался от механистического объяснения явлений, которое присутствовало в первом, в пользу «энергетического», выдвинутого Хельмом. «Гипотетические» величины, такие, как атомные объекты (атомы), отсутствовали; вместо этого авторы были вполне удовлетворены, как писал Мерц около 1904 г., «измерением таких величин, которые доступны наблюдению, т. е. энергии, массы, давления, электрического потенциала, объема, температуры, теплоты и т. д., без сведения их к воображаемым механизмам или кинетическим величинам». Они отвергали понятия, аналогичные понятию эфира, свойства которого были недоступны прямому наблюдению, и выдвинули лозунг — «пересмотреть заново основные принципы физических рассуждений, в особенности область применения и действительность ньютоновских законов движения, понятий силы и действия, абсолютного и относительного движения»⁶.

Все эти требования, за исключением антиатомизма, должны были быть симпатичны молодому Эйнштейну,

который, по словам его коллеги Йозефа Саутера, любил называть себя «еретиком»⁷. Таким образом, мы можем с полным основанием предполагать, что Эйнштейн чувствовал симпатию к Оствальду, который в своей «Allgemeine Chemie» выступал против того, что «предположение о существовании промежуточной среды, эфира, является неизбежным. Мне кажется, что этого быть не должно... Нет необходимости в поисках ее [энергии] переносчика, если мы обпаруживаем ее повсюду. Это дает нам право рассматривать энергию излучения как существующую независимо в пространстве»⁸. Такая точка зрения полностью совпадает с той, которая выявилась позднее в статьях Эйнштейна 1905 г. по фотонной теории и теории относительности.

Добавим, что тот факт, что Эйнштейн, добываясь места в лаборатории Оствальда, по-видимому, намеревался работать экспериментатором, ничего не означает. Из многочисленных источников нам известно, что в студенческие годы в Цюрихе интерес Эйнштейна к математике, характерный для его детских лет, значительно уменьшился. В «Автобиографических заметках» Эйнштейн говорит: «Я в действительности мог бы получить солидное математическое образование. Однако я работал большей частью в физической лаборатории, очарованный непосредственным соприкосновением с опытом»⁹. К этому один из немногих заслуживающих доверия его биографов добавляет: «Никто не мог его заставить посещать математические семинары... Он даже не подозревал, что в математике содержатся огромные созидательные возможности, благодаря чему впоследствии математика стала руководящим принципом в его работе... Он хотел идти вперед чисто эмпирическим путем в соответствии с его тогдашней научной интуицией... Как естествоиспытатель он был чистым эмпириком»¹⁰.

Главным союзником Оствальда был плодовитый и разносторонне одаренный австрийский физик и философ Эрнст Мах (1838—1916), чьи основные работы Эйнштейн с жадностью проглотил в свои студенческие годы. Впоследствии Эйнштейну пришлось много раз сталкиваться с Махом, и настоящая статья касается главным образом этих столкновений. Наиболее замечательная книга Маха — «Механика»¹¹, — опубликованная впервые в 1883 г., известна более всего, по-видимому, благодаря содержащему-

ся в ней обсуждению ньютоновых «Начал» и, в частности, благодаря сокрушительной критике того, что Мах назвал «уродливостью понятия абсолютного пространства». Эта уродливость объяснялась тем, что была «целиком выдуманной вещью, которая не могла быть подтверждена опытом»¹². Начав с анализа ньютоновских предпосылок, Мах переходит затем к провозглашению своей собственной программы, состоящей в исключении из науки всех метафизических понятий.

Было бы полезно кратко остановиться на главных моментах философии Маха. Для этого мы можем воспользоваться добротным, хотя, по-видимому, и малоизвестным, обзором, сделанным его верным последователем Морисом Шликом в работе «Ernst Mach, der Philosoph».

«Мах был физиком, физиологом, а также психологом, и его философия... происходила из желания найти принципиальную точку зрения, с которой он мог бы подойти к любому исследованию так, чтобы ему не нужно было ее изменять, переходя от области физики к физиологии или психологии. Такую ясную точку зрения он приобрел, возвращаясь к тому, что дано прежде всяких научных изысканий, а именно к миру ощущений... Поскольку все наши свидетельства, касающиеся так называемого внешнего мира, основываются только на ощущениях, Мах придерживался точки зрения, что мы можем и должны рассматривать эти ощущения и комплексы ощущений в качестве единственного содержания (Gegenstände) этих свидетельств, и, следовательно, нет необходимости дополнительно предполагать существование неизвестной реальности, стоящей за спиной ощущений...

В этом мире не существует ничего, кроме ощущений и связей между ними. Вместо слова «ощущения» Мах предпочитал употреблять несколько более нейтральное слово «элементы»... [Как, в частности, ясно из книги Маха «Erkenntnis und Irrtum»], научное познание мира состоит, согласно Маху, всего-навсего из простейшего возможного описания связей между элементами, и это интеллектуальное овладение фактами с помощью минимального усилия мысли и является единственной целью. Она достигается посредством все более полного «согласования одних мыслей с другими». Это и есть формулировка Маха его знаменитого «принципа экономии мышления»¹³.

Влияние воззрений Маха было огромным, в особенности в странах, говорящих по-немецки; оно распространялось на физику, физиологию, психологию, а также на историю и философию науки¹⁴ (не говоря уже о влиянии на таких деятелей культуры, как Гофмансталь, Музиль и другие — за пределами естествознания) *. Мах, будучи фигурой, до странности пренебрегаемой современными учеными (нет даже его хорошей биографии), в последние два или три года вдруг стал предметом ряда многообещающих исследований. Еще сам Мах любил говорить, что им пренебрегают и на него нападают из-за того, что у него нет никакой философской системы, но все же его философские идеи и представления широко вошли в интеллектуальный обиход с 1880-х годов, и Эйнштейн был совершенно прав, говоря впоследствии, что «даже те, кто считал себя противниками Маха, вряд ли осознавали, как много они восприняли от воззрений Маха, это было, как если бы они впитали их с молоком матери»¹⁵.

В то время сами физические проблемы служили поддержкой призыву к новому философскому подходу, на котором настаивал Мах. Великая программа физики девятнадцатого столетия — примирение понятий эфира, материи и электричества с помощью механистических представлений и гипотез — приводила к чудовищным нелепостям, например к предположению Лармора **, что электрон представляет собой постоянное, способное перемещаться состояние скрученности или напряжения в эфире, которое и образует дискретные частицы электричества, а возможно, и всю весомую материю. А многим молодым физикам того времени, которые пытались разрешить физические проблемы, основываясь на представлениях, унаследованных от классической физики девятнадцатого века, вовсе не казалось, что такой путь никуда не ведет. И здесь если не детали философии Маха, то его анти-традиционность и заразная мужественная критика производили сильнейшее впечатление на его читателей.

* Гофмансталь Гуго фон (1874—1926) и Музиль Роберт (1880—1942) — австрийские писатели. — *Прим. перев.*

** Лармор Джозеф (1857—1942) — английский физик-теоретик, автор фундаментальных работ по электродинамике. — *Прим. перев.*

Как показывает переписка Эйнштейна, находящаяся в его архиве в Принстоне, одним из молодых ученых, глубоко захваченных идеями Маха, был Мипельманж (Мипель) Бессо — старейший и ближайший друг Эйнштейна, его соученик и коллега по Патентному бюро в Берне, единственный человек, которому Эйнштейн публично воздал должное за помощь (*manche wertvolle Anregung*) в своей основной статье 1905 г. по теории относительности. Именно Бессо был тем человеком, который познакомил Эйнштейна с работами Маха. В письме Карлу Зелигу от 8 апреля 1952 г. Эйнштейн писал: «Мое внимание к «Механике» Маха было привлечено около 1897 г. моим другом Бессо, в ту пору студентом. Книга произвела на меня глубокое и неизгладимое впечатление... благодаря своей физической направленности на фундаментальные понятия и фундаментальные законы». Как говорил Эйнштейн в своих «Автобиографических заметках», написанных в 1946., «Механика» Эрнста Маха «поколебала эту догматическую веру» в «механику как окончательную основу всей физической мысли... В этом отношении книга оказала на меня, в ту пору студента, глубокое влияние. Я видел величие Маха в его неподкупном скептицизме и независимости; в мои юные годы, однако, гносеологическая позиция Маха также оказала на меня чрезвычайно большое влияние»¹⁶.

Как показывает долгая переписка между двумя старыми друзьями, Бессо оставался правоверным махистом до конца жизни. Так, в письме Эйнштейну от 8 декабря 1947 г. он говорит: «Что касается истории науки, мне кажется, что Мах стоит в центре развития последних 50 или 70 лет». Не правда ли, также спрашивает Бессо, «что это знакомство [с Махом] определило некий этап роста молодого физика [Эйнштейна], когда махистский стиль мышления прямо указывал на данные наблюдений — косвенно, возможно даже, на часы и линейки?»

Вернемся теперь к центральной статье Эйнштейна по теории относительности, написанной в 1905 г. Мы можем усмотреть в ней влияние многих, частью противоположных точек зрения, что не удивительно для работы столь оригинальной и к тому же принадлежащей перу молодого ученого. В другой работе я детально изучил влияние (или

отсутствие влияния) трех современных ему физиков: Г. А. Лоренца¹⁷, Анри Пуанкаре¹⁸ и Августа Фёппля — на создание этой статьи. Здесь же мы можем спросить, в каком смысле и насколько глубоко первая статья Эйнштейна по теории относительности 1905 г. определялась стилем мышления, характерным для Эрнста Маха и его последователей, не говоря уже о ясности и независимости — двух чертах Маха, которыми Эйнштейн всегда восхищался.

Вкратце ответ таков: махистская компонента является довольно сильной, хотя и не полностью определяющей. Наиболее отчетливо она проявляется в двух отношениях: во-первых, с самого начала своей статьи по теории относительности Эйнштейн настаивает на том, что фундаментальные проблемы физики не могут быть поняты, пока не проведен гносеологический анализ, в особенности анализ смысла понятий пространства и времени¹⁹; во-вторых, Эйнштейн идентифицирует реальность с тем, что дается ощущениями, с «событиями», вместо того чтобы поместить реальность на плоскость, находящуюся за пределами непосредственных данных чувственного опыта или же где-то позади них.

С этих позиций явно видна инструменталистская и потому сенсуалистская точка зрения на измерение, а также на понятия пространства и времени. Ключевая идея в начале статьи 1905 г. совершенно отчетливо изложена на третьей странице. Абсолютно справедливо Леопольд Инфельд в своей биографии Эйнштейна говорит об этом отрывке как о «самых простых утверждениях, которые я когда-либо встречал в научной статье». Эйнштейн пишет: «Мы должны принять во внимание, что все наши суждения, в которые входит время, всегда являются суждениями относительно *одновременных событий*. Если, например, я говорю, что поезд прибывает в семь часов, то я подразумеваю приблизительно следующее: указание часовой стрелки моих часов на цифру семь и прибытие поезда являются одновременными событиями»²⁰.

Основное понятие, присутствующее здесь, которое перекрывается почти целиком с понятием основных «элементов» Маха, есть эйнштейновское понятие *события* (Ereignisse) — слово, повторяющееся десятки раз сразу после этой цитаты. В более поздней формулировке Минковского эйнштейновские «события» являются пересечением «ми-

ровых линий», в данном случае — поезда и часов. Само по себе время события (координата t) не имеет операционального смысла. Как говорит Эйнштейн: «„Время“ события есть время, которое показывается одновременно с данным событием часами, находящимися в месте, где это событие происходит»²¹. Мы можем сказать, что подобно тому, как *время* события имеет смысл только тогда, когда оно входит в контакт с нашим сознанием с помощью ощущений (т. е. когда оно может быть подвергнуто измерению в принципе с помощью часов, находящихся в том же самом месте), так точно и *место*, или пространственная координата, имеет смысл только в том случае, если она регистрируется нашими органами чувств, будучи подвергнута измерению в принципе (т. е. с помощью масштабной линейки, имеющейся для этого налицо в это самое время)²².

Операционалистский подход такого рода заслонил для большинства читателей другие философские аспекты статьи Эйнштейна. Его работа с энтузиазмом приветствовалась теми, кто считал себя философскими наследниками Маха — философами Венского кружка неопозитивистов, их предшественниками и последователями²³, поскольку она создавала потрясающую рекламу для взрастившей их философии. Типичное восприятие теории относительности как «победы над метафизикой абсолютного в понятиях пространства и времени... мощного импульса для развития философии в наше время» было пространно изложено Йозефом Петцольдом на открытии Gesellschaft für positivistische Philosophie в Берлине 11 ноября 1912 г.²⁴ Мишель Бессо, который услышал о таком подходе раньше других от самого Эйнштейна, воскликнул: «Во введении системы координат пространства-времени Минковского впервые открывается возможность утвердить мысль, которую уже осознавал великий математик Бернгард Риман: «Сама система координат пространства-времени образуется событиями, в ней происходящими»²⁵.

Конечно, перечитывая эйнштейновскую статью ретроспективно, с позиций сегодняшнего знания — как это мы и делаем сейчас, мы также можем в ней обнаружить и самые различные тенденции, например осознание возможности того, что «реальность» в конце концов не должна оставаться идентичной «событиям». В позднейших работах Эйнштейна существуют предостережения относительно того, что данные чувственного опыта не должны рас-

смаиваться как основные строительные блоки мироздания, что сами законы физики, но-видимому, встроены в мир событий как скрытая структура, управляющая ходом событий.

Подобные мысли появляются даже раньше, в одном из первых писем Эйнштейна, находящемся в архиве. Адресованное его другу Марселю Гроссману, оно датировано 14 апреля 1901 г. — временем, когда Эйнштейн думал, что он нашел связь между ньютонoвскими силами и силами притяжения между молекулами: «Удивительное чувство — осознавать единство комплекса проявлений, которые согласно непосредственному чувственному опыту кажутся различными вещами». Уже здесь содержится намек на то, какое большое значение имеет интуитивное единство, и на ограниченную роль, отводимую очевидным данным чувственного опыта.

Всего этого, конечно, недостаточно, чтобы составить цельную точку зрения, даже для самого автора. Рассматривая ранние статьи, вместе взятые и в контексте физики тех лет, мы обнаруживаем, что философское паломничество Эйнштейна началось на исторической почве позитивизма. Более того, так думал сам Эйнштейн и много раз признавался в этом в письмах к Маху.

ПЕРЕПИСКА ЭЙНШТЕЙНА С МАХОМ

В истории современной науки отношения между Эйнштейном и Махом являются важным вопросом, который заинтересовал сейчас многих ученых. На самом деле это была настоящая драма, и здесь мы можем кратко обрисовать ее четыре этапа: первоначальное принятие Эйнштейном основных положений доктрины Маха; переписка между Эйнштейном и Махом и их встреча; публикация в 1921 г. после смерти Маха его неожиданных и энергичных нападок на теорию относительности Эйнштейна и дальнейшее развитие самим Эйнштейном философии познания, в процессе которого он отказался от многих, если не от всех, своих прежних махистских убеждений.

К счастью, переписка, по крайней мере частично, сохранилась. Было найдено несколько писем — все от Эйнштейна к Маху. Те, что имеют отношение к рассматриваемому вопросу, составляют часть переписки между 1909 и 1913 годами, и они подтверждают тот факт, что Эйн-

штейн чувствовал глубокую приязнь ко взглядам Маха точно так же, как и сам великий Мах, который был на 40 лет старше Эйнштейна, чьи работы только что приобрели широкую известность, публично признал теорию относительности, написав во втором издании «Сохранения энергии»: «Итак, я разделяю принцип относительности, который также ясно высказывается в моей «Механике» и в «Wärmelehre»²⁶. Свое первое письмо Эйнштейн пишет из Берна 9 августа 1909 г. Поблагодарив Маха за присылку ему книги о законе сохранения энергии, он добавляет: «Конечно, я очень хорошо знаю все Ваши основные публикации, из которых «Механикой» восхищаюсь более всего. Вы имели столь сильное влияние на гносеологические представления младшего поколения физиков, что даже Ваши оппоненты, такие, как Планк, без всякого сомнения, считались бы последователями Маха с точки зрения, которая была типична для физиков несколько десятилетий тому назад».

Для нашего анализа важно помнить, что Планк был одним из самых первых защитников Эйнштейна в научных кругах. Именно Планк, будучи редактором «Annalen der Physik», принял в 1905 г. первую статью Эйнштейна по теории относительности, а вслед за этим провел обсуждение этой статьи на семинаре в Берлине. С самого начала Планк защищал работу Эйнштейна по теории относительности в публичных выступлениях, а в 1913 добился того, чтобы его немецкие коллеги приняли Эйнштейна в Keiser-Wilhelm-Gesellschaft в Берлине. Свое отношение к Маху Планк ясно высказал в полемической статье «Против новой энергетике» в 1896 г., а к 1909 г. он был одним из немногих противников Маха, причем наиболее авторитетным с научной точки зрения. Планк только что закончил свою знаменитую работу «Die Einheit des physikalischen Weltbild». В то время как Мах считал, что «ничто не является реальным, за исключением ощущения, а вся наша наука есть, в конце концов, лишь экономное приспособление наших понятий к нашим ощущениям», Планк придерживался прямо противоположного взгляда на то, что является основной задачей науки. Это, по его мнению, «нахождение фиксированной картины мира, независимой от времени и людей», или, более точно, «полное освобождение физической картины от индивидуальных черт, присущих отдельным интеллектам»²⁷.

Замечания Эйнштейна в письме к Маху показывают, что Эйнштейн не разделял точку зрения Планка — так по крайней мере можно судить по подтексту. Здесь также уместно упомянуть о том, что в это же самое время Эйнштейн, который с 1906 г. выступал против несоответствий в квантовой теории Планка, впервые готовил пленарный доклад на 81-й конференции *Naturforscherversammlung*, назначенной на сентябрь 1909 г. в Зальцбурге. В этом докладе Эйнштейн призывал к пересмотру максвелловской теории для того, чтобы привести ее в согласие с вероятностным характером испускания фотонов — что было бы для Планка абсолютно неприемлемо, — и заключал: «Помоему, принять теорию Планка — это значит выбросить фундамент нашей [1905] теории излучения».

Ответ Маха на первое письмо Эйнштейна потерял, но, должно быть, он не заставил себя ждать, поскольку восемь дней спустя Эйнштейн рассыпается в благодарностях:

«Берн, 17 августа 1909 г. Ваше дружеское письмо доставило мне огромное удовольствие... Я очень рад, что Вы согласны с теорией относительности... Еще раз благодарю Вас за дружеское письмо, остаюсь Ваш ученик (в оригинале: *Ihr Sie verehrender Schüler*) А. Эйнштейн».

Свое следующее письмо Эйнштейн пишет, уже будучи профессором физики в Праге, где перед ним Мах занимал этот пост в течение 28 лет. Пост был предложен Эйнштейну на основе рекомендации группы ученых (Лампа, Пик), которые считали себя верными учениками Маха. Это письмо было отослано где-то около Нового года в 1911—1912 гг., возможно сразу после единственной (и, согласно книге Филиппа Франка «Эйнштейн, его жизнь и его время», не вполне удачной) поездки к Маху и сразу после первых успехов в деле создания общей теории относительности:

«...Я совершенно не могу понять, как Планк может до такой степени не понимать (смысла) Ваших усилий. Его отношение к моей теории (общей теории относительности) также отрицательно. Но я не могу обижаться, поскольку один-единственный гносеологический аргумент — единственная вещь, которую я могу привести в пользу моей теории»²⁸.

Здесь содержится тонкий намек на принцип Маха, который Эйнштейн сделал центральным пунктом своей развивающейся теории²⁹. В ответ на это письмо Мах послал

Эйнштейну одну из своих книг, вероятно «Анализ ощущений».

В последнем из этих писем к Маху (которому было тогда 75 лет, и он уже несколько лет был парализован) Эйнштейн писал из Цюриха 25 июня 1913 г.:

«Теперь Вы, вероятно, уже получили мою новую публикацию по теории относительности и тяготению, которую я только что завершил после бесконечного труда и мучительных сомнений. (Должно быть, это была «Entwurf einer verallgemeinerten Relativitätstheorie und einer Theorie der Gravitation», написанная в соавторстве с Марселем Гроссманом³⁰). В следующем году при солнечном затмении выяснится, отклоняются ли световые лучи солнцем или нет, другими словами, справедливо ли на самом деле главное и фундаментальное предположение об эквивалентности ускорения системы отсчета и поля тяготения. Если да, то Ваши творческие исследования оснований механики — несмотря на несправедливую критику Планка — получают замечательное подтверждение. Ибо необходимым выводом является то, что инерция своим происхождением обязана некоторому виду взаимодействий между телами — в точности в духе Вашей критики ньютоновского эксперимента с ведром»³¹.

ПУТИ РАСХОДЯТСЯ

Переписка здесь, по существу, кончается, однако еще в течение нескольких лет Эйнштейн продолжает высказывать — публично и в частных беседах — свою приверженность к идеям Маха, например в прочувствованном хвалебном очерке о Махе, который был опубликован в 1916 г. и хорошо известен. В августе 1918 г. Эйнштейн весьма сурово пишет Бессо о частной — и совершенно случайной — ошибке в позитивистской гносеологии Бессо; это письмо заслуживает того, чтобы привести его целиком:

«28 августа 1918 г.

Дорогой Мишель,

перечитывая твое последнее письмо, я нашел нечто такое, что меня рассердило: доказывается, что теория может быть выше, чем эмпирика. Здесь ты имеешь в виду создание теории относительности. Я нахожу, однако, что это событие учит нас чему-то совершенно противоположному, а именно тому, что теория, которая претендует на

достоверность, должна быть построена на обобщенных фактах.

Старые примеры: Главные постулаты термодинамики (основаны) на невозможности вечного двигателя. Механика (основана) на осознанном (*ertasteten*) законе инерции. Кинетическая теория газа (основана) на эквивалентности тепла и механической энергии (также и исторически). Специальная теория относительности — на постоянстве скорости света и уравнениях Максвелла для вакуума, которые в свою очередь основываются на эмпирических данных. Относительность по отношению к равномерному [?] прямолинейному движению есть *опытный факт*.

Общая теория относительности: *эквивалентность инертной и гравитационной массы*. Никогда действительно полезная и глубокая теория не основывается исключительно на рассуждении; ближайший пример — гипотеза Максвелла о токе смещения; проблема, которая состояла в том, чтобы отдать должное факту распространения света... С сердечным приветом, твой Альберт».

Внимательное чтение этого письма показывает нам, что здесь уже существует отчетливая разница в том, как концепция «факта» понимается Эйнштейном и настоящими махистами. Невозможность вечного двигателя, постоянство скорости света, справедливость максвелловских уравнений, эквивалентность инертной и гравитационной масс — ничто из этого набора не могло быть названо Махом «опытным фактом». Конечно, Мах мог бы настаивать на том, что рассматривать все эти понятийные конструкции как не нуждающиеся в постоянной перепроверке было бы — используя его любимое полемическое слово — признаком «догматизма»; так, он писал:

«...Материя, время и пространство все еще остаются для меня *проблемами*, к которым, между прочим, физики (Лоренц, Эйнштейн, Минковский) также медленно приближаются»³².

Подобное свидетельство постепенного отхода Эйнштейна от прежних позиций содержится в письме Паулю Эренфесту от 4 декабря 1919 г. Эйнштейн пишет:

«Я понимаю Ваши трудности, связанные с разработкой теории относительности. Они возникают просто потому, что Вы хотите обосновать нововведения 1905 года с помощью гносеологических причин (отсутствия существования косного эфира), а не с помощью эмпирических при-

чип (эквивалентность всех инерциальных систем по отношению к свету)».

Мах приветствовал бы такое долголетнее недоверие Эйнштейна по отношению к формальным гносеологическим системам, но каким странным показалось бы ему использование слова «эмпирический» для характеристики гипотезы об эквивалентности всех инерциальных систем по отношению к свету! Именно здесь мы наблюдаем у Эйнштейна постепенное формирование той точки зрения, что фундаментальная роль, которую играет опыт в создании фундаментальной физической теории, определяется не «атомами» опыта, не индивидуальными ощущениями или суждениями, относительно которых принято какое-либо соглашение, а истинным творческим осмыслением или синтезом «die gesammten Erfahrungstatsachen», всего многообразия физического опыта в целом³³. Но пока еще эта мысль не высказывается открыто. Вплоть до смерти Маха и еще несколько лет после нее Эйнштейн считал себя учеником Маха и заявлял об этом во всеуслышание.

Однако тем временем адская машина, неизвестная ни Эйнштейну, ни кому-либо другому, уже отсчитывала секунды. Заложенная в 1913 г, она взорвалась в 1921, когда наконец была опубликована пять лет спустя после смерти Маха его книга «Принципы физической оптики». Предисловие Маха к этой книге датировано июлем 1913 г, т. е. несколькими днями (в крайнем случае — несколькими неделями) позже того, как Мах получил последнее, восторженное письмо Эйнштейна вместе с его статьей по общей теории относительности. В хорошо известном отрывке предисловия (который, однако, обычно неточно переводится) Мах писал:

«Я вынужден — и это, вероятно, для меня последняя возможность — отказаться от своих взглядов (Anschauungen) на теорию относительности.

Из публикаций, которые до меня доходят, а также из переписки я выяснил, что меня постепенно стали рассматривать как предвестника теории относительности. Теперь я даже могу себе представить, что новые изложения и интерпретации многих из моих идей, высказанных в моей книге по механике, будут в будущем излагаться с этой точки зрения. Следовало было ожидать, что философы и физики начнут против меня кампанию, поскольку я всего-навсего был беспристрастным странником, наделенным

оригинальными идеями в различных областях знания. Однако, несомненно, я должен отказаться от титула предшественника адептов теории относительности, так как я лично отвергаю атомистическую доктрину современного толка или верования. Причина того, почему и до какой степени я отвергаю (ablehne) современную теорию относительности, которую я нахожу становящейся все больше и больше догматической, наряду с причинами, приведшими меня к такой точке зрения,—соображениями, основанными на физиологии ощущений, гносеологических сомнениях и прежде всего на интуиции, явившейся следствием моих опытов, — все это должно быть рассмотрено в продолжении (этой книги) [в продолжении, которое никогда не было опубликовано]»³⁴.

Конечно, Эйнштейн был разочарован этим запоздалым свидетельством внезапного отказа Маха от теории относительности. Спустя несколько месяцев на лекции в Париже 6 апреля 1922 г. в дискуссии с антимихистским философом Эмилем Мейерсоном Эйнштейн позволил себе сказать о Махе фразу, ставшую широкоизвестной, что Мах был «un bon méchanicien», но «déplorable philosophe» («хорошим механиком», но «жалким философом») ³⁵.

Мы хорошо понимаем, что отказ Маха был чрезвычайно чувствителен для Эйнштейна, тем более что по недоразумению судьба лишила Эйнштейна поддержки со стороны именно тех людей, которых он ценил в самой высокой степени и на понимание и одобрение которых, казалось, вполне мог рассчитывать. Такая ситуация случается иногда в истории науки. Кроме Маха, к этим ученым следует отнести еще четырех: Анри Пуанкаре, который вплоть до своей смерти в 1912 г. лишь один раз снизошел до того, чтобы упомянуть имя Эйнштейна в печати, и то только для того, чтобы высказать возражение; Г. А. Лоренца, который лично оказывал Эйнштейну всяческую поддержку, однако не мог принять полностью теорию относительности; Макса Планка, чья поддержка специальной теории относительности была безоговорочной, но который высказывал сопротивление идеям общей теории относительности Эйнштейна и его первоначальной квантовой теории излучения; и, наконец, А. А. Майкельсона, который до конца дней своих не верил в теорию относительности, а однажды даже сказал Эйнштейну, что сожалеет, что его собст-

венная работа, возможно, способствовала появлению этого «чудовища»³⁶.

Вскоре, однако, великодушные Эйнштейна вновь взяли в нем верх, и это выразилось в том, что в дальнейшем и до конца своей жизни он продолжал говорить о влиянии Маха, которое он испытал в начале своей деятельности³⁷. Подробное рассмотрение этого вопроса содержится в письме к Бессо от 8 января 1948 г.:

«Что касается Маха, то я хотел бы подчеркнуть различие между влиянием Маха в целом и его влиянием на меня... Особенно в «Механике» и в «Wärmelehre» он пытался показать, как понятия возникают из данных опыта. Он убедительно защищал ту точку зрения, что эти понятия, даже наиболее фундаментальные из них, находят свое оправдание исключительно на основе эмпирического знания, что они никоим образом не являются логически необходимыми...

Я усматриваю его слабость в том, что он до некоторой степени был убежден, что наука заключается в простом упорядочивании эмпирического материала, т. е., иначе говоря, он не понимал роли произвольных конструктивных элементов в образовании понятий. В некотором смысле он думал, что теории возникают благодаря *открытиям*, а не благодаря изобретениям. Он даже заходил настолько далеко, что рассматривал «ощущения» не просто как материал для исследования, а как якобы строительные блоки реального мира; и он полагал, таким образом, что сумел преодолеть различие между психологией и физикой. Если бы он был последовательным до конца, ему следовало бы отвергнуть не только атомизм, но также и само представление о физической реальности.

Теперь, что касается влияния Маха на мою собственную деятельность, то, конечно, оно было очень велико. Я очень хорошо помню, что ты привлек мое внимание к его «Механике» и «Wärmelehre» в первые годы моего студенчества и что обе книги произвели на меня большое впечатление. Но в какой степени они оказали влияние на мою собственную работу — это мне неясно, честно говоря. Насколько я могу судить, непосредственное влияние Юма на меня было еще больше... Однако, как я сказал, я не могу анализировать то, что закреплено в моем подсознании. Кстати, интересно, что Мах страстно отвергал специальную теорию относительности (он не дожил до нояв-

ления общей теории относительности в ее законченном виде). Эта теория была для него недопустимо умозрительной. Он не знал, что подобный умозрительный характер имеет также и механика Ньютона, и любая другая мыслительная теория. Между теориями существует только незначительная разница, определяемая тем, что цепочки рассуждений от фундаментальных понятий до эмпирически подтверждаемых выводов имеют различную длину и сложность»³⁸.

АНТИПОЗИТИВИСТСКАЯ КОМПОНЕНТА В РАБОТАХ ЭЙНШТЕЙНА

Резкие слова Эрнста Маха в его предисловии 1913 г. остаются обескураживающей загадкой. Уничтожение Людвигом Махом бумаг своего отца сделало невозможным узнать что-либо еще об «экспериментах» (возможно, касающихся постоянства скорости света), на которые он намекал. Начиная с 1921 г. было предложено множество объяснений этим замечаниям Маха³⁹. Все они оставляют желать лучшего. И все же я полагаю, что не представляет особого труда реконструировать основные причины, в результате которых Мах пришел к отрицанию теории относительности. Проще говоря, Мах понимал все более отчетливо — и гораздо раньше, чем сам Эйнштейн, — что Эйнштейн в действительности давно отошел от веры и вышел за пределы маховского эмпириокритицизма.

Список подтверждений тому достаточно длинен. Здесь можно привести лишь несколько примеров, первым из которых является сама статья 1905 г. по теории относительности. То, что сделало ее действительно рабочей теорией, определялось тем фактом, что статья содержала и сочетала в себе элементы двух различных философий науки — не просто эмпирико-операционалистскую компоненту, но и смелое введение с самого начала двух тематических гипотез, содержащихся во втором параграфе (гипотеза постоянства скорости света и гипотеза о распространении области применения принципа относительности на все отрасли физики). Эти две гипотезы были постулатами, для которых не существовало и не могло быть никаких прямых экспериментальных подтверждений.

Долгое время Эйнштейн не обращал внимания на этот факт. На лекции в Кингз-колледже в 1921 г. в Лондоне, перед самым появлением в печати посмертных нападок Маха, Эйнштейн продолжал уверять, что возникновение теории относительности обусловлено фактами непосредственного опыта:

«Мне очень хочется обратить внимание на тот факт, что эта теория не является умозрительной по своему происхождению. Своим возникновением она всецело обязана стремлению сделать физическую теорию как можно более соответствующей наблюдаемым фактам. Следовательно, мы имеем здесь не революционный акт, а естественное продолжение непрерывной линии, которую мы можем проследить в веках. Отказ от некоторых представлений, связанных с пространством, временем и движением, до сих пор рассматриваемых как фундаментальные, должен считаться не произвольным, а лишь обусловленным наблюдаемыми фактами»⁴⁰.

Однако в июне 1933 г., когда Эйнштейн вновь приехал в Англию, чтобы прочесть спенсеровскую лекцию в Оксфорде на тему «О методе теоретической физики», начала вырисовываться гносеология гораздо более сложная, чем та, что содержалась в его ранних работах. Он начал лекцию показательной фразой: «Если вы хотите узнать у физиков-теоретиков что-либо о методах, которыми они пользуются, я советую вам твердо придерживаться следующего правила: не слушайте, что они говорят, а лучше изучайте их работы». Затем он продолжал, разделяя задачи опыта и задачи теории в стиле совершенно отличном от того, которого он придерживался во время своей предыдущей поездки в Англию:

«Мы здесь встречаемся с вечным противоречием двух неразделимых компонент нашего познания — эмпирической и рациональной... Логическое мышление определяет структуру этой системы; то, что содержит опыт и взаимные соотношения опытных данных, должно найти свое отражение в выводах теории. В том, что такое отражение возможно, состоит единственная ценность и оправдание всей системы, и особенно понятий и фундаментальных законов, лежащих в ее основе. В остальном эти последние суть свободные творения человеческого разума, которые не могут быть априори оправданы ни природой этого разума, ни каким-либо другим путем».

В заключение этого раздела он обращает внимание на «чисто умозрительный характер основ научной теории». Это и есть та глубокая пронизательность, которую Мах почувствовал много раньше и отверг как «догматизм».

Конечно, Эйнштейн в своей спенсеровской лекции 1933 г. — которая получила широкое распространение, как и многие другие его высказывания, — осуждал прежнюю точку зрения, что «фундаментальные понятия и основные законы физики не были в логическом смысле свободными изобретениями человеческого разума и что они могли бы быть выведены из экспериментов посредством «абстракции», т. е. логическими средствами. Ясное осознание не-правильности этого понимания, по существу, принесла только общая теория относительности».

Эйнштейн заканчивает обсуждение этого вопроса провозглашением своего теперешнего кредо, которое столь отличается от того, что им высказывалось ранее:

«Природа представляет собой реализацию простейших математически мыслимых элементов. Я убежден, что посредством чисто математических конструкций мы можем найти те понятия и математические связи между ними, которые дадут нам ключ к пониманию явлений природы. Опыт может нам подсказать соответствующие математические понятия, но они ни в коем случае не могут быть выведены из него. Конечно, опыт остается единственным критерием пригодности математических конструкций физики. Но настоящее творческое начало присуще именно математике. Поэтому я считаю в известном смысле оправданной веру древних в то, что чистое мышление в состоянии постигнуть реальность»⁴¹.

Собственно говоря, Эйнштейн сейчас находится в середине своего паломничества или только что ее миновал. Он уже давно оставил свою приверженность примитивному феноменализму, который удостоился бы похвалы Маха. В первом из двух отрывков, цитированных выше, так же как и в других, им аналогичных, Эйнштейн перешел к более утонченной форме феноменализма, который мог бы быть приемлем и сейчас для многих логических позитивистов. Однако во втором отрывке он пошел еще дальше, обращаясь к вопросам, из которых, как мы увидим позже, выросли чисто метафизические концепции.

Позже сам Эйнштейн подчеркивал ключевую роль того, что он называл скорее тематическими, а не феноме-

нологическими элементами⁴². Отсюда, оглядываясь назад, он устанавливает первоначальную дату, когда он почувствовал необходимость во введении подобных элементов в процесс своих ранних исследований. Так, в «Автобиографических заметках» 1946 г. он писал, что «вскоре после 1900 г. ...я отчаялся в возможности докопаться до истинных законов путем конструктивных обобщений известных фактов. Чем дольше и чем отчаянней я старался, тем больше я приходил к заключению, что только открытие *всеобщего формального принципа* может привести нас к надежным результатам»⁴³.

Другим примером постепенного отмежевания от махистских позиций может служить также одна из ранних статей Эйнштейна по теории относительности, опубликованная в журнале «*Jahrbuch der Radioaktivität und Elektronik*»⁴⁴ в 1907 г. В ней Эйнштейн после года молчания отвечает на статью Вальтера Кауфмана в «*Annalen der Physik*»⁴⁵ от 1906 г. Эта статья была первой публикацией в «*Annalen*», в которой упоминалась работа Эйнштейна по теории относительности, опубликованная в предыдущем году в том же журнале. Весьма показательно, что именно этот первый отклик со стороны маститого физика-экспериментатора Кауфмана был объявлен категорическим экспериментальным опровержением эйнштейновской теории. Кауфман предпослал своей атаке сокрушительное резюме:

«Я предварю здесь, что общий результат измерений должен быть обозначен следующим образом: *результаты эксперимента несовместимы с фундаментальными предположениями Лоренца — Эйнштейна*»⁴⁶.

Эйнштейн не мог знать тогда, что экспериментальные средства, которыми располагал Кауфман, были недостаточными. Для того чтобы это понять, нужно было, чтобы прошло десять лет, пока это не было доказано работой Гюи и Лаванши в 1916 г. Поэтому в дискуссии 1907 г. Эйнштейн был вынужден признать, что небольшое, но показательное различие между результатами Кауфмана и предсказаниями Эйнштейна, возможно, существует. Он согласился с тем, что, по-видимому, в расчетах Кауфмана нет ошибки, однако достоверно судить о том, «имеется ли непредвиденная систематическая ошибка или же это основания теории относительности не соответствуют фактам, можно будет лишь тогда, когда в распоряжении будет

находиться значительное разнообразие материала наблюдений»⁴⁷.

Несмотря на это пророческое замечание, Эйнштейн на этом не успокоился. Напротив, он выдвигает точку зрения, рассматривая проблему совершенно под другим углом, причем эта точка зрения, учитывая время и ситуацию, была достаточно смелой. Так, он признает, что теория движения электрона, выдвинутая Абрагамом и Бухерером, действительно содержит предсказания, которые значительно лучше совпадают с экспериментальными результатами Кауфмана. Но Эйнштейн отказывает «фактам» в праве решать суть дела: «С моей точки зрения, обе [их] теории имеют весьма малую вероятность, поскольку их фундаментальные положения относительно массы движущихся электронов необъяснимы в терминах теоретических систем, охватывающих более широкий комплекс явлений»⁴⁸.

Это высказывание является весьма характерной чертой — ключевым различием между Эйнштейном и теми, кто считал соответствие экспериментальным фактам главным решающим фактором, говорящим за или против данной теории; даже в том случае, когда «экспериментальные факты» в данное время со всей очевидностью говорят в пользу теории его оппонентов, он считает, что предпосылки *ad hoc*, характеризующие их теории, являются более показательными в смысле неприемлемости этих теорий, чем кажущееся несоответствие его собственной теории «фактам» оппонентов.⁴⁹

Поэтому уже в статье 1907 г. — которую, кстати, Эйнштейн упоминает в своей открытке, посланной Маху 17 августа, с припиской, что, к сожалению, у него нет больше ее оттисков, — мы имеем очевидное доказательство того, как Эйнштейн укрепляется в своем отрицательном отношении к признанию превосходства эксперимента в гносеологии, не говоря уже о чувственном опыте. В последующие годы Эйнштейн все более и более открыто выступал в защиту согласованности простых и убедительных теорий (или тематических концепций), оценивая ее более высоко и считая ее более важной, чем последние новости из лабораторий. И снова он оказался прав.

Таким образом, всего лишь несколько месяцев спустя после того, как Эйнштейн написал свое четвертое письмо Маху, что эксперименты по наблюдению за солнечным

затмением решат, «справедливо ли на самом деле главное и фундаментальное предположение об эквивалентности ускорения системы отсчета и поля тяготения», в марте 1914 г., перед тем как планировалась первая, неудавшаяся впоследствии экспедиция по наблюдению за затмением для проверки выводов первоначального варианта общей теории относительности, Эйнштейн пишет письмо Бессо в совершенно другом духе: «Теперь я полностью удовлетворен и больше не сомневаюсь в правильности всей системы [безотносительно к тому], будут ли наблюдения затмения успешными или нет. Чувство предмета (die Vernunft der Sache) слишком уж отчетливо». И позже, комментируя тот факт, что между экспериментальными данными по измерению отклонения света Солнца и расчетами, сделанными на основе общей теории относительности, получилось расхождение до 10%, он пишет: «Для знатока эта вещь не особенно важна, поскольку главное достоинство теории заключается не столько в подтверждении ее частных следствий, сколько в существенном упрощении теоретического базиса всей физики в целом»⁵⁰. Или опять в «Заметках о возникновении общей теории относительности»⁵¹ Эйнштейн говорит, что «он был в высшей степени изумлен» существованием эквивалентности между инертной и гравитационной массой, но что он «серьезно не сомневался в безусловной справедливости этого факта, даже не зная ничего о результатах превосходных экспериментов Этвеша».

Тот же самый акцент отмечен и в примечательном рассказе Ильзы Розенталь-Шнейдер, студентки Эйнштейна. В рукописи, озаглавленной «Воспоминания о разговорах с Эйнштейном», датированной 23 июля 1957 г., она сообщает:

«Однажды, когда я пришла к Эйнштейну для того, чтобы прочесть вместе с ним работу, содержащую множество возражений против его теории... внезапно он прервал обсуждение книги, достал телеграмму, лежавшую на подоконнике, и подал ее мне со словами: «Посмотрите, возможно, это вас заинтересует». Это была каблограмма Эддингтона с результатами измерений, сделанных экспедицией по наблюдению за затмением (1919). Когда я стала выражать свою радость по поводу того, что результаты совпадают с его расчетами, он сказал мне совершенно бесстрастно: «Но ведь я знал, что теория справедлива»; а когда я

спросила: что, если бы его предсказания не подтвердились? — он ответил: «Тогда мне было бы очень жаль Господа Бога — ведь теория правильна»⁵².

«МИР» МИНКОВСКОГО И МИР ОЩУЩЕНИЙ

Третьим важным показателем, по которому Мах, если не сам Эйнштейн, должен был понять, что пути их разошлись, было перерастание теории относительности в геометрию четырехмерного пространственно-временного континуума, начавшееся в 1907 г. в результате работ математика Германна Минковского (студентом которого, кстати, Эйнштейн был в Цюрихе). Безусловно, именно благодаря полупопулярной лекции Минковского «Пространство и время», прочитанной 21 сентября 1908 года, на восьмидесятом заседании *Naturforscherversammlung*⁵³, ряд ученых впервые заинтересовались теорией относительности. Мы имеем несколько свидетельств того, что также и Мах был одновременно и заинтересован, и озабочен введением в физику четырехмерной геометрии (по этому вопросу см., например, переписку Маха с Августом Фёпплем в 1910 г.). Согласно Фридриху Гернеку⁵⁴, Эрнст Мах специально пригласил молодого венского физика Филиппа Франка «для того, чтобы больше узнать о теории относительности, и прежде всего об использовании четырехмерной геометрии». В результате Франк, который только что закончил учебу под руководством Людвига Больцмана, начал публиковать достойные внимания работы по теории относительности, и среди них «изложение теории Эйнштейна, которое Мах одобрил»: «Принцип относительности и изображение физических явлений в четырехмерном пространстве»⁵⁵. Эта статья, адресованная тем, «кто не владеет современными математическими методами», была попыткой показать, что работа Минковского выявляет «эмпирические факты значительно более четко, используя [представление] о четырехмерных мировых линиях». Статья заканчивается оптимистически: «В этом четырехмерном мире опытные факты могут быть представлены более адекватно, чем в трехмерном пространстве, где отображаются лишь только произвольная и односторонняя их проекция».

Следуя в целом работе самого Минковского, анализ Франка дает тем не менее возможность осознать тот факт,

что во многих отношениях размерность времени эквивалентна размерностям пространства. Следовательно, можно думать, что сам анализ Минковского основан не только на функциональной и операциональной взаимосвязи пространства и времени, но также — в полном согласии с точкой зрения самого Маха — на первичности обычных, «проверенных на опыте» понятий пространства и времени в релятивистском описании явлений.

Возможно, что благодаря этой публикации Мах и упомянул имена Лоренца, Эйнштейна и Минковского в своем отклике на первую из пападок Планка, назвав их физиками, «которые близко подошли к проблемам материи, пространства и времени». Еще годом раньше Мах, по-видимому, благосклонно отнесся к высказываниям Минковского, хотя и не без некоторых оговорок. В издании 1909 г. книги «Сохранение энергии» * Мах писал: «Пространство и время здесь уже не рассматриваются как независимые сущности, а понимаются как формы зависимости явлений друг от друга»; он добавил также ссылку на лекцию Минковского 1908 г. Однако несколькими строками ранее он написал: «Пространство многих измерений не кажется мне существенным для физики. Я бы мог их принять лишь в том случае, если бы мысленные конструкции (*Gedankendinge*) рассматривались как необходимые и если бы также принималась свобода построения гипотез».

Ч. Б. Вейнберг справедливо указывал⁵⁶, что Мах, по-видимому, имел две причины для того, чтобы относиться с подозрением к теории относительности в интерпретации Минковского. Как уже отмечалось выше, Мах рассматривал фундаментальные понятия механики как проблемы, подлежащие постоянному обсуждению, которое проводится с максимальной откровенностью в рамках эмпиризма. Он вовсе не был склонен относиться к ним так, как, по его мнению, все более явно делали сторонники теории относительности, очевидные догматики и самоуверенные люди; для них эти проблемы могли быть разрешены окончательно. Кроме того, Мах считал, что физические проблемы должны изучаться в более широком контексте, обнимающем биологию и психофизиологию. Так, он писал: «Физика — это еще не вся вселенная; существует еще и био-

* См. примечание 26. — *Прим. ред.*

логия, которая существенным образом входит в картину мира»⁵⁷.

Но мне кажется, что существует еще и третья причина, объясняющая антагонизм Маха к концепциям, аналогичным представлениям Минковского (если только не ограничивать их применение лишь по отношению к «чисто умозрительным конструкциям вроде атомов и молекул, которые по самой своей природе никогда не могут быть объектом чувственных восприятий»⁵⁸). Если относиться к работе Минковского всерьез, например отказаться рассматривать пространство и время отдельно, а тождественность допускать только при рассмотрении «некоего единства этих двух», то необходимо признать, что такое допущение влечет за собой также и отказ от концепций эмпирического пространства и эмпирического времени. А это уже покушение на самые основы физики ощущений, на сам смысл реальных измерений. В том случае, если тождественность, смысл или «реальность» определяется пространственно-временным интервалом ds , тогда мы имеем дело с величиной, которая вряд ли может быть названа *denkökonomisch* (экономящей мышление), или величиной, которая говорит о первичности измерений в «реальном» пространстве и времени. Мах, по-видимому, очень хорошо видел предупреждающий знак, а вскоре, как мы сейчас покажем, дело пошло хуже.

В своей великолепной лекции 1908 г.⁵³ Минковский провозгласил, что «трехмерная геометрия станет главой четырехмерной физики... Пространство и время должны исчезнуть, а будет существовать только лишь *eine Welt an sich*». В этом «мире» центральным нововведением было понятие «*zeitartige Vektorelement*», ds определяемого как $1/c \sqrt{c^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2}$ и содержащего мнимые величины. Но для Маха слово «Element» имело существенное, но совершенно иное значение. Как мы видели из резюме Шлика, элементы есть не что иное, как ощущения или комплексы ощущений, из них состоит мир, и они его целиком определяют. Трактовка Минковским теории относительности показывала необходимость переместить фундамент основных, элементарных истин из плоскости непосредственного опыта, находящейся в обычном пространстве и времени, в математизированную, формализованную модель мира, пребывающую в пространстве-времени, которое недоступно непосредственным ощущениям. И в этом

смысле она напоминает понятия абсолютного пространства и времени, которые Мах назвал «метафизическими монстрами»⁵⁹.

Эта трактовка поэтому и содержала в себе суть того, что все больше и больше разделяло Эйнштейна и Маха, хотя они этого вначале и не сознавали. Для Маха основная задача науки определялась ее описательной ролью, функцией, направленной на экономию мышления, в то время как для Эйнштейна задача науки определялась ее теоретико-конструктивной и интуитивной ролью. Мах как-то написал: «Если бы все отдельные факты, все отдельные явления, к познанию которых мы стремимся, стали бы нам непосредственно доступны, наука никогда бы не возникла»⁶⁰. На это Эйнштейн — с прямолинейностью, обусловленной, возможно, внезапной враждебностью Маха, — ответил во время лекции в Париже 6 апреля 1922 г.: «Система Маха изучает существующие отношения между данными опыта: по Маху, наука и есть многообразие этих отношений. Такая точка зрения ошибочна, и в действительности то, что делал Мах, — это составление каталога, а не построение системы»⁶¹.

Здесь мы являемся свидетелями старого конфликта, который продолжается вместе с развитием науки. Феноменализм Маха представлял собой превосходное и неотразимое оружие для критической переоценки классической физики, и в результате этого процесса он, по-видимому, возвратился на позиции древних, которые рассматривали чувственные проявления как начало и конец научных достижений. Под таким углом зрения можно прочесть Галилея, когда тот настаивает на первоочередной необходимости описания падения тел, оставляя нахождение причин напоследок. Точно таким же образом можно понять (или, скорее, не понять) Ньютона с его достопамятным лозунгом «Гипотез не измышляют»⁶². Кирхгоф также находится в русле этой традиции. В 1888 г. Больцман писал о нем:

«Цель состоит не в том, чтобы строить смелые гипотезы для проникновения в суть вещей или чтобы объяснить движение тела исходя из движения молекул, а в том, чтобы найти уравнения, которые, будучи свободны от гипотез, являлись бы максимально возможно истинными и количественно точными соответствиями миру явлений безотносительно к существу вещей и сил. В своей книге по механике Кирхгоф наложит запрет на все метафизические:

понятия, такие, например, как сила или причина движения; он ищет только лишь уравнения, которые максимально возможным образом соответствовали бы наблюдаемым движениям»⁶³.

Сам Эйнштейн мог бы именно так понимать (что он и делал) махистскую компоненту в своем творчестве в первые годы научной деятельности.

Феноменологический позитивизм всегда одерживал в науке победу, но только до определенного предела. Он представляет собой необходимое оружие для опровержения старых ошибок, но не годится для выращивания нового урожая. Мне кажется в высшей степени показательным, что Эйнштейн осознал этот факт в период частичного отхода от махистской философии. Весной 1917 года Эйнштейн пишет Бессо и упоминает в письме рукопись, присланную ему Фридрихом Адлером. Эйнштейн говорит по этому поводу: «Он загнал махистскую лошадку до изнеможения». На что Бессо, верный приверженец Маха, отвечает 5 мая 1917 г.: «Что касается махистской лошадки, нам не следует ее обижать; разве не она сделала возможным это проклятое путешествие по относительности? И кто знает — в случае этих отвратительных квантов, — может, именно она пронесет Don Quixote de la Einsta через все беды!»

Ответ Эйнштейна от 13 мая 1917 г. ставит все точки над *i*: «Я вовсе не ругаю лошадку Маха, но ты ведь знаешь, что я думаю о ней. Она не может породить ничего живого, она может лишь истреблять вредителей».

НА ПУТИ К РАЦИОНАЛИСТИЧЕСКОМУ РЕАЛИЗМУ

Остальную часть паломничества легко реконструировать, поскольку Эйнштейн все более и более открыто и сознательно отвергал махистскую доктрину — сводя к минимуму роль реальных деталей эксперимента как в начале, так и в конце создания научной теории и склоняясь к рационализму, который почти неизбежно привел его к представлению об объективном «реальном» мире, стоящем за спиной явлений, на которые реагируют наши чувства.

В работе «Влияние Максвелла на развитие представлений о физической реальности» (1931) Эйнштейн начинает с утверждения, которое почти дословно совпадает с цитированным выше высказыванием Макса Планка в его на-

падках на Маха в 1909 г.: «Вера в то, что внешний мир независим от субъекта, его воспринимающего, есть основа всего естествознания». Начиная со времени разработки общей теории относительности Эйнштейн снова и снова говорит о том, что между опытом и разумом, так же как между чувственными восприятиями и объективным миром, существуют логически необъяснимые разрывы. Он характеризует действенность разума в деле познания реальности эпитетом «чудесная»; для Маха употребление этого слова в данном контексте было бы равносильно анафеме.

Мы можем задать вопрос, когда и при каких обстоятельствах Эйнштейн осознал перемену в своей позиции. Для разъяснения этого мы снова можем обратиться к одному из не опубликованных до сих пор писем, адресованных его старому другу Корнелиусу Ланцошу 24 января 1938 г.:

«Из скептического эмпирика в духе Маха я превратился — благодаря проблеме тяготения — в убежденного рационалиста, т. е. в того, кто ищет единственный достоверный источник истины в математической простоте. Конечно, логическая простота не должна являться физической истиной, однако физическая истина логически проста, т. е. она обладает единством, содержащимся в ее основе».

Безусловно, все данные говорят за то, что работа Эйнштейна над общей теорией относительности была решающим периодом в развитии его гносеологических представлений. Позже он писал в «Физике и реальности» (1936): «Первой целью общей теории относительности является установление первоначальной формулировки, которую, пренебрегая требованием, чтобы она сама по себе представляла нечто завершенное, можно было бы возможно проще связать с „непосредственно наблюдаемыми фактами“»⁶⁴. Но, по-видимому, эта цель в первые годы переписки с Махом не могла быть достигнута. В «Заметках о возникновении общей теории относительности» Эйнштейн писал:

«Я скоро увидел, что введение нелинейного преобразования как следствия принципа эквивалентности неизбежно является фатальным для обычной интерпретации координат, т. е. что нельзя больше требовать, чтобы разности координат $[ds]$ означали бы результаты непосредственных измерений с идеальными линейками и часами. Я был весь-

ма беспокоен осознанием этого факта... [точно так же, как, должно быть, и Мах].

Решение вышеупомянутой дилеммы (начавшееся в 1912 г.) состояло поэтому в следующем: физический смысл имеют не дифференциалы координат, а лишь соответствующая им риманова метрика»⁶⁵.

Это и есть основной результат работы Эйнштейна и Гроссмана⁶⁶ 1913 г., той самой статьи, которую Эйнштейн послал Маху и о которой он говорил в четвертом письме ему. Результат являлся значительным выводом из представления Минковского о четырехмерном пространстве — последней жертвой идеи первичности непосредственных чувственных восприятий в процессе построения физической системы. Это и был тот самый выбор, который Эйнштейн был вынужден сделать. Он поступил так, нарушив свою лояльность по отношению к каталогу отдельных операциональных данных непосредственного чувственного опыта и поддержав надежду древних на существование единства, лежащего в основе физических теорий⁶⁷.

По поводу взаимоотношений между научным рационализмом Эйнштейна и его религиозным чувством было написано немало. Макс Борн суммировал все это в одном предложении: «Он верил в способность разума догадываться о законах, согласно которым Бог создал Вселенную»⁶⁸. Пожалуй, лучшее изложение этого взгляда, представленное самим Эйнштейном, содержится в его работе «Über den gegenwärtigen Stand der Feldtheorie» («О современном состоянии теории поля»), написанной в 1929 г. для «Festschrift» Аурела Стодолы:

«Физическая теория определяется двумя страстными желаниями: охватить как можно большее количество соответствующих явлений и их связей и помочь нам не только понять, каким образом проявляет себя Природа и как происходят в ней взаимодействия, но также достичь несбыточной и самонадеянной цели — узнать по возможности наиболее достоверно, почему Природа такова, а никакая другая. В этом и заключается высшее удовлетворение ученого... [Строя дедукцию исходя из «фундаментальной гипотезы», например из кинетическо-молекулярной теории], можно, так сказать, понять, что сам Бог не мог бы создать эти связи [например, между давлением, объемом и температурой] иначе, чем в том виде, в котором они действительно существуют, — это все равно как если бы

в Его власти было бы сделать число 4 первой цифрой. В этом заключается прометеевский элемент научного опыта... В этом для меня всегда заключалось особенное очарование научных исследований; в этом явлении как бы и есть религиозная основа творческих усилий ученого»⁶⁹.

Конечно, эти страстные строки далеки от того анализа, который Эйнштейн проделал всего несколько лет назад. Но они еще дальше от аскетизма его первого ментора в философии — Маха, писавшего в своем дневнике: «Цвета, пространство, тона и т. д... Они суть единственные реальности. Других не существует»⁷⁰. С другой стороны, эти строки гораздо ближе к рационалистическому реализму его первого ментора в науке — Планка, который говорил: «Разрозненные данные опыта без разумного вмешательства духа, побуждаемого верой, никогда не могут составить настоящую науку. Мы имеем право чувствовать себя спокойно, полагаясь на наши философские воззрения, основанные на вере в рациональное устройство этого мира»⁷¹. Безусловно, мы замечаем сходство философской позиции Эйнштейна с натуральными философами семнадцатого века, например с Иоганном Кеплером, который во введении в «Космографическую тайну» провозглашал, что относительно числа, расположения и движений планет он хочет понять, «почему они такие, как они есть, а не какие-либо другие», и который писал Херварту в апреле 1599 г., что относительно чисел и величин наше знание того же рода, что и Господа Бога, по крайней мере в той степени, в какой мы способны что-либо понять в этой брэнной жизни.

Неудивительно, что в течение этого времени (около 1930 г.) мы обнаруживаем, что в произведениях Эйнштейна, не относящихся к науке, начинают гораздо более часто, чем прежде, обсуждаться религиозные проблемы. Существует тесная связь между его гносеологией, в которой реальность не нуждается в подтверждении органами чувств индивида, и тем, что он назвал «космической религией», определяемой следующим образом: «Индивидуум ощущает ничтожность человеческих желаний и целей, с одной стороны, и чудесный порядок, проявляющийся в природе и мире идей, — с другой. Он ощущает свою индивидуальную судьбу как заточение и пытается осознать все многообразие бытия как единство, полное смысла»⁷².

Не приходится говорить, что время от времени Эйн-

штейн совершенно откровенно сообщал своим старым друзьям о переменах в своих воззрениях. Например, 20 ноября 1930 г. Эйнштейн писал Морицу Шлику:

«В целом Ваше представление не совпадает с моей концептуальной направленностью, поскольку я нахожу всю Вашу ориентировку, так сказать, слишком позитивистской... Я скажу Вам прямо: физика есть попытка концептуального построения модели реального мира и его закономерной структуры. Безусловно, она [физика] должна точно отражать эмпирические отношения между теми данными чувственного опыта, которые нам доступны, но она связана с ними только *таким лишь образом...* Короче, я страдаю от (расплывчатого) различия между Реальностью Опыта и Реальностью Бытия...

Вы будете удивлены, узнав о «метафизике» Эйнштейна. Но в этом смысле каждое четырехное и каждое двунное животное де-факто является метафизиком».

Аналогично Филипп Франк, коллега, а затем биограф Эйнштейна, сообщает, что он самым неожиданным образом узнал об истинной позиции Эйнштейна на Конгрессе немецких физиков в Праге в 1929 г., где Франк делал «доклад, в котором нападал на метафизические позиции немецких физиков и защищал позитивистские идеи Маха». Выступавший сразу за ним докладчик был в этом с ним не согласен и указал Франку на то, что тот ошибается, продолжая связывать взгляды Эйнштейна с воззрениями Маха и своими собственными. «Он добавил, что Эйнштейн целиком согласен с точкой зрения Планка, что физические законы описывают реальность в пространстве и времени, которая независима от нас самих. В то время, — замечает Франк, — эта интерпретация взглядов Эйнштейна меня очень поразила»⁷³.

В ретроспективе, конечно, гораздо легче увидеть, что такая перемена готовилась в течение некоторого времени. Сам Эйнштейн все более отчетливо понимал, насколько близко его взгляды подошли к воззрениям Планка, от которых он отмежевывался раньше — в трех из четырех писем к Маху. На праздновании семидесятилетия Планка, спустя два года после смерти Маха, Эйнштейн произнес прочувствованную речь, где, по-видимому, впервые открыто упомянул о споре между Махом и Планком, подтвердив при этом свое убеждение в том, что «не существует логического пути для открытия элементарных за-

конов. Такой путь может быть указан только интуицией», основанной на проникновении (Einfühlung) в суть опыта⁷⁴. Научный спор между Эйнштейном и Планком относительно теории излучения также был разрешен в пользу Эйнштейна в результате ряда достижений, имевших место после 1911 г., примером которых может служить боровская теория излучения для атомов газа. Будучи коллегами, Эйнштейн и Планк начиная с 1913 г. регулярно встречались друг с другом. Среди документов, подтверждающих совпадение их взглядов, в архиве Эйнштейна находится рукопись, написанная 17 апреля 1931 г. (или, может, чуть раньше), представляющая собой черновик введения Эйнштейна к острополюемической статье Планка «Позитивизм и реальный внешний мир»⁷⁵. С похвалой отзываясь о статье Планка, Эйнштейн заключает: «Я позволю себе добавить, что представление Планка о нынешнем положении вещей, равно как и его субъективные ожидания относительно будущего развития нашей науки, целиком совпадают с моими собственными взглядами»⁷⁶.

Эта работа дает ясное представление о взглядах Планка (и, можно полагать, Эйнштейна) на физику и философию. Так, Планк пишет: «Существенным пунктом теории позитивизма является то, что не существует другого источника познания, кроме прямого и кратчайшего пути через восприятия посредством органов чувств. Позитивизм всегда твердо придерживался этой точки зрения. Однако два следующих утверждения представляют собой кардинальный фактор, от которого зависит вся структура физической науки. Эти утверждения таковы: (1) *существует реальный внешний мир, и он существует независимо от акта познания*, и (2) *реальный внешний мир не является непосредственно познаваемым*. Между этими двумя утверждениями, однако, имеется некоторое противоречие. Этот факт говорит о наличии иррационального, или мистического, элемента, который присущ физической науке так же, как и всякой другой области человеческого познания. Следствием этого является то, что наука никогда не в состоянии полностью и до конца решить проблемы, которые перед ней стоят. Мы должны признать, что такое положение вещей есть твердый и непоколебимый факт, и этот факт не может быть устранен какой-либо теорией, которая с самого начала ограничивает сферу действия науки. Поэтому стоящую перед нами задачу науки мы ви-

дим в непрерывной борьбе за достижение той цели, которая никогда не может быть достигнута, потому что по самой своей сути она недостижима. Эта цель — метафизична и, как таковая, всегда будет оставаться за пределами наших возможностей»⁷⁷.

Начиная с этого момента высказывания Эйнштейна и Планка на эту тему почти не отличаются друг от друга. Так, в работе, написанной в честь Бертрана Рассела, Эйнштейн предупреждает, что «роковая «боязнь метафизики»... превратилась в болезнь современного эмпирического философствования»⁷⁸. С другой стороны, в обширной переписке двух старых друзей, Эйнштейна и Бессо, каждый трогательно и терпеливо пытается объяснить до конца свою точку зрения и по возможности изменить точку зрения другого. Так, 28 февраля 1952 г. Бессо еще раз пытается сделать точку зрения Маха снова приемлемой для Эйнштейна. Последний же в своем ответе 20 марта 1952 г. еще раз отмечает, что факты не могут привести к дедуктивной теории, что в крайнем случае они могут служить трамплином для «интуитивного поиска общего принципа», являющегося основой дедуктивной теории. Немного позже Эйнштейн добродушно распекает Бессо (в письме от 13 июля 1952 г.): «Кажется, ты не воспринимаешь всерьез четырехмерной реальности, а вместо этого считаешь, что настоящее и есть единственная реальность. То, что ты называешь «миром», есть, пользуясь физической терминологией, «пространственно-подобное сечение», для которого, согласно теории относительности — уже даже специальной теории относительности, — объективной реальности не существует».

В конце концов Эйнштейн пришел к точке зрения, относительно которой многие, а возможно, и он сам, думали, что он первоначально исключил ее из физики в своей основной статье 1905 г. по теории относительности. Эта точка зрения состоит в том, что существует внешняя, объективная физическая реальность, которую мы надеемся постигнуть — но не непосредственно, не эмпирически или логически и не с полной достоверностью, а всего лишь с помощью интуитивного взлета, в котором мы руководствуемся только лишь опытом, определяемым всем многообразием «фактов», доступных нам посредством органов чувств. События происходят в «реальном мире», для которого пространственно-временной мир чувственного опы-

та и даже мир многомерного континуума есть не более чем полезные представления.

Для ученого столь фундаментальное изменение своих философских воззрений вещь редкая, но не беспрецедентная. Мах сам очень рано испытал драматическую трансформацию своих воззрений (начав с кантианского идеализма в возрасте 17—18 лет, согласно его собственным автобиографическим заметкам). Заметим, что и Оствальд дважды менял свои взгляды, сначала отвергая атомизм, а потом снова возвращаясь к нему. Удивительно, что сам Планк признавался в своей статье о Махе 1910 г.²⁷, что около двадцати лет назад, в начале своей научной карьеры, когда ему было под тридцать (а Маху около пятидесяти), он также рассматривался как «один из решительных последователей махистской философии», и это, конечно, легко увидеть в ранней работе Планка о сохранении энергии (1887).

В неопубликованном отрывке, предназначенном, по-видимому, в качестве дополнения для одной из статей сборника «Альберт Эйнштейн: философ-ученый» (1949), Эйнштейн еще раз возвращается к обсуждению — и весьма саркастическому — точки зрения своих противников. Даже сами слова, которые он использует, показывают, насколько полной является перемена, происшедшая в его гносеологии. Возможно, даже не вспоминая специально высказывания Планка в его критике Маха 1909 г., цитированные выше, о том, что основная цель науки есть «полное освобождение физической картины мира от индивидуальных черт, присущих отдельным интеллектам»³², Эйнштейн выдвигает «основную аксиому» своего собственного мышления:

«Она заключается в постулировании существования «реального мира», которое, так сказать, освобождает «мир» от мыслящего и экспериментирующего субъекта. Крайние позитивисты думают, что они могут без этого обойтись; это кажется мне иллюзией, если только они не намерены отказаться от самого мышления».

Окончательный взгляд Эйнштейна на гносеологию состоит в том, что мир чистого опыта должен быть подчинен фундаментальному мышлению и встроен в него столь глобально, что может быть назван космологическим по своему характеру. Безусловно, современная философия до настоящего времени еще не получила нового и закончен-

ного оформления. Физики во всем мире, в общем, чувствуют, что нужно придерживаться в значительной степени среднего курса, проходящего между, с одной стороны, махистской приверженностью к эмпирическим данным и эвристическим предпосылкам, рассматриваемым как единственный источник возникновения теории, и эстетико-математической приверженностью к убеждающей внутренней гармонии, рассматриваемой как свидетельство истины, — с другой. Более того, старая дихотомия между рационализмом и эмпиризмом постепенно исчезает, по мере того как предпринимаются новые подходы к проблеме ⁷⁹. Однако, охватывая в процессе собственного философского развития обе крайности этой проблемы и всегда искренне и красноречиво защищая каждую свою вновь пересмотренную точку зрения, Эйнштейн не только помогает нам обрести свой собственный взгляд, но и дает нам уникальную, по существу, возможность рассмотреть взаимодействие науки и гносеологии.

1. Основные результаты исследований по данной теме содержатся в статьях 5—10 книги: Holton G. *Thematic Origins of Scientific Thought: Kepler to Einstein*. [По этой теме см. также: Делокаров К. Х. Эйнштейн и Мах. — В книге: «Эйнштейн и философские проблемы физики XX века». М., «Наука», 1979.—*Ред.*]

2. Эти документы находятся главным образом на хранении в Архиве наследства Альберта Эйнштейна в Принстоне. Везде, где это специально не отмечено, цитаты даются из этих документов. В изучении материалов Архива, а также в содействии приведению их в порядок для научной работы я благодарен за помощь опекунам наследства Альберта Эйнштейна, и особенно мисс Элен Дюкас.

Я благодарю управляющего наследством за разрешение процитировать высказывания Альберта Эйнштейна, содержащиеся в его рукописях. Я также хочу отметить финансовую помощь Рокфеллеровского фонда в деле каталогизации коллекций Архива в Принстоне. Институт Высших исследований в Принстоне и его директор значительно содействовали выполнению этой работы. Я признателен также г-ну Веро Бессо за разрешение процитировать письма его отца Мишельянжа Бессо. Все переводы сделаны автором.

Первоначальные варианты разделов этой статьи были представлены в качестве докладов на Tagung Eranos в Асконе (август 1965), на Международном конгрессе по истории науки в Варшаве (август 1965) и на заседании Science et Synthèse в ЮНЕСКО в Париже (декабрь 1965), труды которого были опубликованы в книге «Science et Synthèse» (Paris, Gallimard, 1967).

3. Это письмо, так же как следующие два (от 3 апреля 1901 и от 13 апреля 1901 г.), опубликовано К. Кёрбером: K ö r b e r H.-G. *Forschungen und Fortschritte*, 1964, 38, S. 75—76.

4. Einstein A. *Folgerungen aus den Capillaritätsercheinungen*. — “*Annalen der Physik*”, 1901, 4, S. 513—523.

5. Известна еще только одна попытка Эйнштейна получить место ассистента. Это было обращение к Камерлинг-Оннесу (12 апреля 1901 г.); кстати, Эйнштейн, по-видимому, никакого ответа не получил.

6. Merz J. T. *A History of European Thought in the Nineteenth Century*, 4 vols, Edinburgh, William Blackwood & Sons, 1904—1912; новое издание: New York, Dover Publishing Co., 1965. v. II, p. 184, 199.

7. “*Erinnerungen an Albert Einstein*”, издано Патентным бюро в Берне около 1965 (без даты издания и пагинации).

8. Ostwald W. Chemische Energie, Lehrbuch der allgemeinen Chemie, 2-е издание, Leipzig, Verlag von Wilhelm Engelmann, 1903, w. II, Part I, p. 1014.

9. Einstein A. Autobiographical Notes.—In: Schilpp P. A. (ed.). Albert Einstein: Philosopher-Scientist, Evanston, Ill.: Library of Living Philosophers, 1949, p. 15.

10. Reiser A. Albert Einstein. New York: A. & C. Boni, 1930, p. 51—52.

11. Mach E. Der Mechanik in ihrer Entwicklung, historisch-kritisch dargestellt. Leipzig, cit., 1883.

12. Mach E. Op. cit. (Предисловие к 7-му изданию, 1912).

13. Schlick M. Ernst Mach, der Philosoph, в специальном приложении, посвященном Эрнсту Маху, к "Neue freie Presse" (Vienna) от 12 июня 1926 г. Сам Эйнштейн в кратком, но живописном очерке "Zur Enthüllung von Ernst Machs Denkmal", опубликованном там же (по случаю открытия памятника Маху), писал: «Самой действенной движущей силой была для Маха философская концепция, согласно которой достоинство всех научных понятий и утверждений основывается исключительно на изолированных данных чувственного опыта (Einzelerlebnisse), к которым эти понятия относятся. Это фундаментальное утверждение наложило отпечаток на все его исследования и создало предпосылки для пересмотра им традиционных фундаментальных понятий физики (времени, пространства, инерции) с независимостью, неслыханной для того времени».

14. Среди множества свидетельств творческой активности Маха не последнее место занимают его пятьсот с лишним публикаций (считая все прижизненные переиздания; например, «Механика» переиздавалась в Германии семь раз при жизни Маха). Следует также отметить его обширную переписку, обмен статьями и книгами, среди которых важнейшие «содержат дарственные надписи авторов», как говорится во внушительном каталоге библиотеки Маха, составленном Теодором Аккерманом (Akkerman T. Munich, № 634 [1959] и № 636 [1960]). То, какое впечатление производил Мах на людей, его окружавших, можно видеть на примере Уильяма Джемса, который писал: «...Я думаю, что никто другой не производил на меня столь сильного впечатления...» (Из письма Джемса в: Allen C. W. William James, A Biography. New York, Viking Press, 1967, p. 249.)

Актуальность ранних размышлений Маха о том, что стало впоследствии частью общей теории относительности, подтверждается многочисленными работами о принципе Маха, которые продолжают появляться и по сей день. Кроме того, следует отметить, что влияние Маха и на современную научную мысль продолжает оставаться весьма значительным. Мало кто выразился по этому поводу столь ясно и открыто, как выдающийся физик Р. Х. Дик из Принстонского университета в своей кн. "The Theoretical Significance of Experimental Relativity" (London, Gordon and Breach, 1964, p. VII—VIII):

«Мне было интересно узнать, сколько других различных теорий [кроме общей теории относительности] могло бы опираться на те же самые факты... Причину ограничений, налагаемых на класс теорий в этом случае, следует искать в философских аспектах, а не

в данных наблюдений. Прежде всего здесь надо назвать философию епископа Беркли и Э. Маха. Философия Беркли и Маха всегда подспудно присутствовала в подсознании и оказывала влияние на все мои мысли».

15. Einstein A. Ernst Mach.—In: "Physikalische Zeitschrift", 1916, 17, S. 101—104.

16. Einstein A. Autobiographical Notes, p. 21.

17. Holton G. On the Origins of the Special Theory of Relativity. — In: "American Journal of Physics", 1960, 28, p. 627—636.

18. Holton G. On the Thematic Analysis of Science: The Case of Poincaré and Relativity, *Mélanges Alexandre Koyré*. Paris, Hermann, 1964, p. 257—268.

19. Относительно того, что это настоятельное утверждение о важности гносеологического анализа понятий пространства и времени является скорее махистским, чем берущим свое начало от Юма и Канта (которые тем не менее тоже сыграли свою роль), см. детальный разбор критики Маха ньютоновских понятий пространства и времени, принадлежащий Эйнштейну (прим. 15); его дискуссии о Махе (прим. 9, с. 27—29, а также прим. 1).

20. Einstein A. Zur Elektrodynamik bewegter Körper, *Annalen der Physik*, 1905, 17, S. 893.

21. Там же, с. 894.

22. Frank Ph. Einstein, Mach and Logical Positivism. — In: Schilpp. Op. cit., p. 272—273. «Определение одновременности в специальной теории относительности основано на требовании Маха, чтобы каждое утверждение в физике констатировало взаимоотношения между наблюдаемыми объектами... Без сомнения... требование Маха, «позитивистское» требование, представляло для Эйнштейна большую эвристическую ценность».

23. См., например: Frank Ph. *Modern Science and Its Philosophy*, New York, George Braziller, 1955, p. 61—89; Kraft V. *The Vienna Circle*, trans. Arthur Pap, New York: Philosophical Library, 1953; Mises R. von. *Ernst Mach und die empiristische Wissenschaftsauffassung*, 1938. — In: "Einheitswissenschaft".

24. Petzoldt J. *Gesellschaft für positivistische Philosophie*. — In: "Zeitschrift für positivistische Philosophie", 1913, 1, S. 4. В той же самой речи Петцольд затронул тему, которая стала широко популярной в позитивистской интерпретации теории относительности, а именно, что теория относительности возникла как непосредственный отклик на загадочную ситуацию, сложившуюся в результате опыта Майкельсона.

В своей интересной работе *Das Verhältniss der Machischen Gedankenwelt zur Relativitätstheorie*, опубликованной в качестве приложения к 8-му немецкому изданию «Механики» Маха [Mach E. *Die Mechanik in ihrer Entwicklung*. Leipzig, F. A. Brockhaus, 1921, S. 490—517]. Петцольд явно пытается выявить и обсудить ряд махистских аспектов теории относительности Эйнштейна:

(1) Эта теория «в конечном счете основана на признании совпадения ощущений и, следовательно, находится целиком в согласии с мировоззрением Маха, которое лучше всего может быть охарактеризовано как релятивистский позитивизм» (s. 516).

(2) Работы Маха «создали атмосферу, без которой создание теории относительности было бы невозможно» (s. 494); в частности

анализ Маха эквивалентности вращающихся систем отсчета — в пьютоновском эксперименте с ведром — подготовил почву для следующего этапа — эйнштейновского «принципа эквивалентности для систем координат, движущихся друг относительно друга» (с. 495).

(3) Маховский принцип экономии блестящим, можно сказать, образом продемонстрирован в скупых и простых утверждениях Эйнштейна относительно двух фундаментальных гипотез. Постулат об эквивалентности инерциальных координатных систем касается «наиболее простого из всех мыслимых случаев, который составляет теперь краеугольный камень общей теории относительности. Другой основной постулат [постоянство скорости света] также был выбран Эйнштейном из соображений наибольшей возможной простоты... Таковы основания. Все остальное — логическое следствие» (с. 497—498).

[Критику философских позиций Иозефа Петцольда смотри в книге В. И. Ленина «Материализм и эмпириокритицизм», гл. I, § 2 и 3; гл. II, § 4; гл. III, § 3 (Ленин В. И. Поли. собр. соч., т. 18, с. 47—71, 123—133, 157—175). — *Ред.*]

25. Письмо Бессо Эйнштейну от 16 февраля 1939 г. Среди прочих свидетельств влияния Эйнштейна на позитивистскую философию науки см.: Bridgman P. W. Einstein's Theory and the Operational Points of View. — In: Schilpp. Op. cit., p. 335—354.

26. Mach E. History and Root of the Principle of Conservation of Energy. Chicago, The Open Court Publishing Co., 1911, p. 95. Перевод Филиппа Э. Б. Журдена второго издания (Mach E. Die Geschichte und die Wurzel des Satzes von der Erhaltung der Arbeit, Leipzig, J. A. Barth, 1909). Краткий анализ различных высказываний Маха (как положительных, так и отрицательных) по поводу принципа относительности см.: Dingler H. Die Grundgedanken der Machischen Philosophie. Leipzig, J. A. Barth, 1924, S. 73—86. Фридрих Гернек (Herneck F. Nochmals über Einstein und Mach. — In: "Physikalische Blätter", 1961, 17, S. 275) сообщает, что Франк писал ему о впечатлении, сложившемся во время дискуссии с Эрнстом Махом в 1910 г., что Мах «был целиком согласен со специальной теорией относительности Эйнштейна, и в частности с ее философским базисом».

27. Перепечатано в кн.: Planck M. A Survey of Physical Theory. New York, Dover Publications, 1960, p. 24. Позже мы прочтем еще одно подтверждение этой позиции, сделанное почти в тех же выражениях, но другим автором.

После ответа Маха ("Die Leitgedanken meiner naturwissenschaftlicher Erkenntnislehre und ihre Aufnahme durch die Zeitgenossen". — In: "Scientia", 1910, 7, S. 225). Планк написал другую, гораздо более острую статью (см. "Zur Machischen Theorie der physikalischen Erkenntnis"—In: "Vierteljahrsschrift für wissenschaftliche Philosophie", 1910, 34, S. 497). Он закончил ее следующим образом: «Если физик желает способствовать прогрессу своей науки, он должен быть Реалистом, а не Экономом (в духе принципа экономии мышления Маха); т. е. в потоке событий он должен искать и пытаться распознать то, что является устойчивым, непреходящим и независимым от человеческих чувств».

28. Frank Ph. Einstein, His Life and Times, trans. George

Rose, ed. and rev. Suchi Kusaka, New York; Alfred A. Knopf, 1947.

29. Позже Эйнштейн понял, что такой образ действий не годится (см.: Einstein A. Notes on the Origin of the General Theory of Relativity, Ideas and Opinions, trans. Sonja Bargmann. London, Alvin Redmann, 1954, p. 285—290). В письме от 2 февраля 1954 г. Феликсу Пирани Эйнштейн писал: «Не нужно больше говорить, по-моему, о принципе Маха. Он возник в то время, когда думали, что «тяжелые тела» есть единственная физическая реальность и что всех элементов теории, которые не полностью ими определяются, необходимо сознательно избегать. Я хорошо понимаю, что долгое время я и сам придерживался этой идеи фикс».

30. Einstein A. and Grossman M. Entwurf einer verallgemeinerten Relativitätstheorie und einer Theorie der Gravitation. — In: "Zeitschrift für Mathematik und Physik", 1913, 62, S. 225—261.

31. Для дальнейшего изучения см. полный текст четырех писем в: Нерпекк F. Zum Briefwechsel Albert Einsteins mit Ernst Mach. — In: "Forschungen und Fortschritte", 1963, 37, S. 239—243; Die Beziehungen zwischen Einstein und Mach, dokumentarisch dargestellt, Wissenschaftliche Zeitschrift der Friedrich — Schiller Universität. — In: "Mathematisch-naturwissenschaftliche Reihe". Jena, 1966, 15, S. 1—14, а также: Hönl H. Ein Brief Albert Einsteins an Ernst Mach. — In: "Physikalische Blätter", 1960, 16, S. 571—580. Было опубликовано много свидетельств, прямых и косвенных, относительно влияния Маха на Эйнштейна в период до смерти Маха в 1916 г. Например, только что обнаруженные документы показывают, что в 1911 г. Мах участвовал в выработке манифеста, призывающего к созданию общества позитивной философии, который он и подписал. Кроме него, манифест подписали Иозеф Петцольд, Давид Гильберт, Феликс Клейн, Георг Хельм, Зигмунд Фрейд и Эйнштейн (см.: Нерпекк. Nocheinmals über Einstein und Mach, p. 276).

32. Mach E. Die Leitgedanken meiner naturwissenschaftlichen Erkenntnislehre und ihre Aufnahme durch die Zeitgenossen. — In: "Physikalische Zeitschrift", 1910, 11, S. 605. Определенно—сам Мах не всегда был «махистом».

33. См.: Einstein A. Time, Space, and Gravitation (1948). — In: "Out of My Later Years". New York, Philosophical Library, 1950, p. 58. Эйнштейн проводит различие между конструктивными теориями и «принципиальными теориями». Примером последних, по его мнению, могут служить теория относительности и законы термодинамики. Такие принципиальные теории, говорит Эйнштейн, берут свое начало от «наблюдаемых на опыте общих свойств явлений». См. также: "Autobiographical Notes", p. 53.

34. Mach E. Die Prinzipien der physikalischen Optik. Leipzig, J. A. Barth, 1921. Английский перевод: "The Principles of Physical Optics", trans. John S. Anderson and A. F. A. Young (London; Methuen 1926); другое издание: New York; Dover Publications, 1953, p. VII—VIII.

35. Einstein, in Séance du 6 avril, 1922; La théorie de la relativité. — In: "Bulletin de la Société Française de Philosophie", 1922, 22, p. 91—113. В своем предисловии, отвергающем теорию относительности, Мах выразился, возможно, более запальчиво и резко

чем сам того хотел. Некоторые данные о такой возможности содержатся в письме Маха Петцольду. В начале 1914 г. Мах писал: «Я получил номер позитивистского "Zeitschrift", который содержит Вашу статью об относительности; мне она понравилась не только потому, что Вы с лихвой воздаете мне должное за мой скромный вклад в эту область, но и вся целиком». Прошло меньше месяца, и Мах — еще более непоследовательно — пишет Петцольду: «Приложенное письмо Эйнштейна [копия последнего из четырех писем Эйнштейна, цитированного выше] доказывает пропикновение позитивистской философии в физику; Вы можете быть этим довольны. Год назад философия представляла собой совершеннейший нон-сенс. Подробности это доказали. Год назад парадокс часов не был бы замечен Эйнштейном».

Я благодарю д-ра Джона Блэкмора за то, что он обратил мое внимание на переписку Маха с Петцольдом, а также д-ра Г. Мюллера за предоставление копий документов из архива Петцольда в Берлине.

36. Shankland R. S. Conversations with Einstein. — In: "American Journal of Physics", 1963, 31, p. 56.

37. Вот типичный пример из письма к Армину Вейнеру от 18 сентября 1930 г. «...У меня не было сколько-нибудь существенного обмена письмами с Махом. Однако Мах все же оказал значительное влияние на развитие моих взглядов благодаря своим сочинениям. Испытало ли мое творчество его влияние и до какой степени — мне определить невозможно. Мах сам в последние годы занимался теорией относительности, а в предисловии к последнему изданию одной из своих книг высказал даже свое весьма резко отрицательное отношение к теории относительности. Не может быть, однако, никакого сомнения, что это явилось следствием возрастного уменьшения способности воспринимать [новые идеи], ибо весь ход рассуждений в этой теории совпадает с его представлениями, так что Мах совершенно справедливо рассматривается как предшественник общей теории относительности...»

Я благодарю полковника Берна Дибнера за возможность получить копию этого письма из архивов библиотеки Бернди в Норуолке, штат Коннектикут. Среди других не опубликованных до сих пор писем Эйнштейна, в которых он говорит о своем чувстве признательности Маху, мы можем процитировать письмо к Антону Лампе от 9 декабря 1935 г.: «...Вы говорите о Махе как о человеке, почти преданном забвению. Я не могу поверить, что это соответствует фактам, так как сегодня философская ориентация физиков стала скорее ближе к Маху — это обстоятельство в немалой степени определяется влиянием его сочинений». Более того, практически все остальные разделяли точку зрения Эйнштейна, открыто им высказанную, относительно заслуг Маха в деле создания теории относительности; так, Ганс Рейхенбах писал в 1921 г.: «Теория Эйнштейна означала выполнение программы Маха» ("Der gegenwärtige Stand der Relativitätstheorie", Logos, 1922, 10, S. 311). Даже Гуго Динглер соглашался: «Критика [Маха] ньютоновских представлений о времени и пространстве послужила отправной точкой для теории относительности... Не только работы Эйнштейна, но и более современные достижения, например квантовая механика Гейзенберга, были стимулированы философией

Маха» (Dingler H. Ernst Mach, *Encyclopedia of the Social Sciences* ed. Edwin R. A. Seligman and Alvin Johnson, New York, Macmillan Co., 1933, Vol. 9, p. 653). А Г. Э. Геринг написал статью, название которой весьма типично для многих исследований на эту тему ("Mach als Vorläufer des physikalischen Relativitätsprinzips". — In.: "Kölner Universitätszeitung", 1920, 1, S. 3—4). Я благодарен д-ру Джону Блэкмору за копию этой статьи.

38. В своей статье "Zur Enthüllung von Ernst Machs Denkmal" в специальном приложении газеты "Neue freie Presse", цитированной в прим. 13, Эйнштейн — тогда уже разочарованный в махистской программе — написал (сразу после фразы, приведенной в прим. 13):

«Философы и ученые часто — и справедливо — критиковали Маха за то, что он сводил на нет логическую независимость понятий перед лицом «онцунций», [и] за то, что хотел растворить Реальность Бытия (без постулирования которой физика невозможна) в Реальности чувственного Опыта...» Существуют добавочные сведения, как опубликованные, так и неопубликованные, относительно деталей отношений между Махом и Эйнштейном, но за недостатком места они здесь приведены быть не могут.

39. Например, высказывания самого Эйнштейна, Иозефа Петцольда и Гуго Динглера. Я придаю такую вероятность возможности того, что разлад возник из-за разницы во взглядах Эйнштейна и Маха на атомизм. Гернеку принадлежит важное сообщение, что, согласно письму, написанному Филиппом Франком, Мах оказался здесь под влиянием Динглера, которого он превозносил в «Механике» издания 1912 г. и который с самого начала был противником теории относительности, став затем одним из наиболее «озлобленных врагов» Эйнштейна (Herneck. *Die Beziehungen zwischen Einstein und Mach*, S. 14, см. прим. 31). Копии писем Динглера Маху, находящиеся в Институте Эрнста Маха во Фрейбурге, обнаруживают намерения Динглера, однако роль Динглера все еще остается загадкой, которой имело бы смысл заняться. Показательно, что в своей работе 1921 г. (см. прим. 24) Петцольд отводит много места защите работ Эйнштейна от нападок Динглера. См. также: Thiele J. *Analysis of Mach's Preface*. — In: NTM, "Schriftenreihe für Geschichte der Naturwissenschaften, Technik und Medizin", 1965, 2, Leipzig, S. 10—19.

40. Einstein A. *Über Relativitätstheorie, Mein Weltbild* Amsterdam: Querido Verlag, 1934, S. 214—230; переиздано как "On the Theory of Relativity", *Ideas and Opinions*, p. 246—249. Гернек воспроизвел тексты аналогичных дискуссий по фонографическим записям Эйнштейна в 1921 и даже 1924 гг. См.: "Zwei Tonodokumente Einsteins zur Relativitätstheorie. Forschungen und Fortschritte", 1966, 40, S. 133—134.

41. Цитаты из: Einstein A. *Zur Methode der theoretischen Physik, Mein Weltbild*, S. 176—187; в переводе на английский: "On the Method of Theoretical Physics", *Ideas and Opinions*, p. 270—276; отличие состоит в том, что одна строка переведена неверно и нуждается в корректировке. Существует ряд более поздних работ и лекций, в которых обсуждается та же проблема. См., например, лекцию «Физика и реальность» ("Physics and Reality", 1936, пере-

печатано в сборнике «Ideas and Opinions», p. 290—323), где утверждается, что теория познания Маха неудовлетворительна вследствие относительной близости между опытом и понятиями, которые она использует. Эйнштейн выступает за выход из рамок этой «феноменологической физики», с тем чтобы построить теорию, фундамент которой дальше отстоял бы от непосредственного опыта, но при этом такая теория в свою очередь обладала бы большим «единством основ». Или см.: «Autobiographical Notes». p. 27: «В процессе выбора теорий для будущего» он показывает, что основные понятия и аксиомы продолжают «удаляться от того, что можно наблюдать непосредственно».

Точно так же, как воззрения Эйнштейна в дальнейшем изменяются, чтобы охватить «erlebbare, beobachtbare» факты, равно как и «wild-spekulative» природу теории, таким же образом поступили и многие философы науки, которые начинали как горячие приверженцы махистских воззрений. Эта возрастающая модификация первоначальной позиции, частично обусловленная «возрастающим пониманием теории относительности», была зарегистрирована Франком, например, в работе «Эйнштейн, Мах и логический позитивизм» (Schilpp. Op. cit., p. 296—286).

42. Обсуждение тематических и феноменологических элементов в создании теории см. в моей статье «The Thematic Imagination in Science» — In: Holton G. Thematic Origins of Scientific Thought: Kepler to Einstein. Cambridge, Mass., Harvard University Press, 1973, p. 47—68.

43. Einstein A. Autobiographical Notes, p. 53. Курсив наш. На с. 9—11 Эйнштейн говорит о том, что могло быть зародышем такого подхода в детстве — при изучении геометрии.

44. Einstein A. Über das Relativitätsprinzip und die demselben gezogenen Forderungen. — In: “Jahrbuch der Radioaktivität und Elektronik”, 1907, 4, S. 411—462.

45. Kaufmann W. Über die Konstitution des Elektrons. — In: “Annalen der Physik”, 19, p. 487—533.

46. Там же, с. 495.

47. См. прим. 44. с. 439.

48. Там же. Вскоре после того, как появилась статья Кауфмана, Макс Планк (“Die Kaufmannschen Messungen der Ablenkbarkeit der β -Strahlen in ihrer Bedeutung für die Dynamik der Elektronen”. — In: “Physikalische Zeitschrift”, 1906, 7; S. 753—761) открыто взял на себя защиту работ Эйнштейна в свете утверждений Кауфмана. Но он пришел к выводу, что данные Кауфмана не обладают точностью, достаточной для его утверждений. Кстати, Планк пытался найти название для новой теории, которое еще не было найдено — «Relativtheorie».

49. Следует вспомнить, что Пуанкаре, который внес значительный вклад в создание теории относительности, был уже совершенно готов к тому, чтобы сделать уступку экспериментальным «данным». См. прим. 18.

50. Seelig C. Albert Einstein. Zürich, Europa Verlag, 1954, p. 195.

51. Einstein A. Einiges über die Entstehung der allgemeinen Relativitätstheorie, Mein Weltbild, S. 248—256; в английском пере-

воде: «Notes on the Origins of the General Theory of Relativity».— In: «Ideas and Opinions», p. 285—290.

52. «Da könnt' mir halt der liebe Gott leid tun, die Theorie stimmt doch». Это полусерьезное замечание человека, которого никак нельзя было считать святотатцем, целиком отражает стиль значительной группы современных физиков. Dirac P. The Evolution of the Physicist's Picture of Nature. — In: «Scientific American», 1963, 208, S. 46—47. Дирак говорит об этом, в особенности о работах Шредингера, в духе очень близком к высказываниям его друга Эйнштейна, несмотря на противоположное отношение к успехам квантовой физики. Лучше всего будет привести целиком высказывание Дирака: «Шредингер основывался в большей степени на математической точке зрения, пытаясь создать красивую теорию для описания атомных явлений, чему способствовали представления де Бройля о волнах, которые присущи частицам. Шредингер смог расширить эти представления и получить красивое уравнение, известное как уравнение Шредингера, описывающее процессы, происходящие в атоме. Шредингер получил это уравнение путем чистого размышления, пытаясь найти некое красивое обобщение представлений де Бройля и не обращая большого внимания на экспериментальные результаты, как это делал, например, Гейзенберг.

Я мог бы рассказать вам историю, слышанную мной от Шредингера, о том, как он, ухватив первоначальную идею этого уравнения, тотчас применил его для описания водородного атома и получил в конце концов результат, не согласующийся с экспериментом. Это расхождение возникло потому, что в то время еще не было известно, что электрон обладает спином. Безусловно, расхождение очень огорчило Шредингера и заставило на несколько месяцев отложить эту работу. Затем он заметил, что, если использовать теорию для более приблизительного описания, не принимая во внимание тонкостей релятивистского характера, в таком грубом приближении теория находится в согласии с данными наблюдений. Свою первую статью он и опубликовал лишь для случая этого грубого приближения, и именно в этом виде уравнение Шредингера увидело свет. Впоследствии, конечно, когда люди научились принимать во внимание спин электрона, расхождение между расчетами по релятивному уравнению Шредингера и экспериментом было полностью ликвидировано.

Я думаю, мораль этой истории состоит в том, что более важно иметь красивое уравнение, чем уравнение, соответствующее эксперименту. Если бы Шредингер был более уверен в своей работе, он мог бы опубликовать ее на несколько месяцев раньше, и при этом опубликовал бы более точное уравнение. Теперь это уравнение известно как уравнение Клейна — Гордона, хотя в действительности оно было открыто Шредингером до того, как им было дано нерелятивистское описание атома водорода.

Если работать, пытаясь получить уравнения, отличающиеся красотой, и обладать действительно верной интуицией, то это, по-видимому, послужило бы залогом успеха. Если же нет полного согласия между результатом работы и экспериментом, не следует быть чересчур обескураженным, ибо это несоответствие может быть результатом частных, которые должным образом не были

приняты в расчет и которые будут улажены в процессе дальнейшего развития теории. Вот так была открыта квантовая механика...» (р. 46—47).

53. Была опубликована несколько раз, например: Teubner V. G. (Leipzig, 1909).

54. Herneck F. Zu einem Brief Albert Einsteins an Ernst Mach.—I: “Physikalische Blätter”, 1959, 15, S. 564. Высказывание Франка приводится Гернеком в работе: “Ernst Mach und Albert Einstein”. Symposium aus Anlass des 50. Todestages von Ernst Mach, ed. Frank Kerkhof, Freiburg, Ernst Mach Institut, 1966, S. 45—61.

55. Frank Ph. Das Relativitätsprinzip und die Darstellung der physikalischen Erscheinungen im vierdimensionalen Raum.—In: “Zeitschrift für physikalische Chemie”, 1910, 74, S. 466—495.

56. Weinberg C. B. Mach's Empirio-Pragmatism in Physical Science. Thesis, Columbia University, 1937.

57. Mach E. Die Leitgedanken meiner naturwissenschaftlichen Erkenntnislehre und ihre Aufnahme durch die Zeitgenossen. — In: “Scientia”, 7, S. 225.

58. Mach E. Space and Geometry. Chicago, Open Court Publishing Co., 1906, p. 138. Попытки Маха рассмотреть использование n -мерных пространств для представления таких «чисто умозрительных вещей» (уничижительное название, применяемое также к ньютоновским понятиям абсолютного пространства и абсолютного движения) содержится в его первой большой книге — «Сохранение энергии» (1-е издание, 1872).

59. Ср.: Petzoldt J. Verbiestet die Relativitätstheorie Raum und Zeit als etwas wirkliches zu denken?—In: “Verhandlungen der deutschen physikalischen Gesellschaft”, 1918, 21—24, p. 189—201. И здесь снова в работе 1921 г. (прим. 24) Петцольд пытается защитить Эйнштейна от обвинений, сделанных, например, Зоммерфельдом, что пространство и время более «не должны мыслиться реальными».

60. Mach E. Conservation of Energy, p. 54.

61. См. прим. 35; также в: Einstein and the Philosophies of Kant and Mach. — In: “Nature”, 1923, 112, S. 253.

62. То, что Эйнштейн не так уж не понимал Ньютона, может быть проиллюстрировано высказыванием, приведенным К. Б. Вейнбергом: «Д-р Эйнштейн заметил далее, что как Мах, так и Ньютон молчаливо использовали гипотезы — не признавая их неэмпирической основы» (Weinberg. Op. cit., p. 55). Динглер проанализировал некоторые неэмпирические основы теории относительности в кн.: “Kritische Bemerkungen zu de Grundlagen der Relativitätstheorie” Leipzig, S. Hirzel, 1921.

63. Цитировано Робертом С. Коэном в его весьма полезной работе “Dialectical Materialism and Carnap's Logical Empiricism”, The Philosophy of Randolf Carnap, ed., P. A. Schilpp, La Salle, Ill.: Open Court Publishing Co., 1963, p. 109. Я признателен профессору Коэну за критические замечания, сделанные по поводу некоторых разделов первоначального варианта этой статьи.

64. Einstein A. Physics and Reality. — In: “Journal of the Franklin Institute, 1936, 221, S. 313—347.

65. Einstein A. Notes on the Origin of the General Theory of Relativity, p. 288, 289.

66. См. прим. 30, р. 230—231.

67. В данной статье я не касаюсь влияния квантовой механики на эволюцию гносеологических представлений Эйнштейна. Главная причина состоит в том, что начиная с 1905 г., когда Эйнштейн отметил «эвристическую» ценность квантовой механики, он всегда оставался скептически настроенным относительно «реальности» квантовой теории излучения. В дальнейшем эта точка зрения лишь укреплялась — по мере его растущей приверженности к реализму, обусловленной работой над общей теорией относительности. В конце концов и к квантовой физике, и к теории относительности он подходил с одних и тех же позиций: см. его письмо Максу Борну от 7 сентября 1944 г.: «Мы стали антиподами в наших научных ожиданиях. Вы верите в бога, играющего в кости, а я — в точные правила, устанавливаемые законами, и в объективность существующего мира, который я пытаюсь охватить путем всестороннего осмысливания». (Born M. Erinnerungen an Einstein. — In: "Universitas, Zeitschrift für Wissenschaft, Kunst und Literatur". 1965, 20, S. 795—807.

68. Born M. Physics and Reality, Physics in My Generation. London, Pergamon Press, 1956, p. 205.

69. Einstein A. Über den gegenwärtigen Stand der Feldtheorie. Festschrift Prof. Dr. A. Stodola zum 70. Geburtstag, ed. E. Honegger (Zurich and Leipzig: Orell Füssli Verlag 1929), S. 126—132. Я благодарен профессору Корнелиусу Ланцошу и профессору Джону Уиллеру, которые указали мне на это высказывание.

70. Dingler. Die Grundgedanken der Machischen Philosophie, S. 98.

71. Planck M. The Philosophy of Physics, trans. W. H. Johnson. New York: W. W. Norton & Co., 1936, p. 122, 125.

72. Einstein A. Religion and Science. The New York Times Magazine, 9 November 1930; ср. "Mein Weltbild", S. 39 и "Cosmic Religion". New York, Covici — Friede, 1931, p. 48.

Возможные причины возросшего интереса Эйнштейна к этим проблемам, частично обусловленные ухудшившейся в то время политической ситуацией, обсуждаются в книге Франка "Einstein, His Life Time" (см. прим. 28). Важно отметить, что, в то время как Эйнштейн был абсолютно безразличен к религиозным проблемам в период своих первых научных публикаций, он постепенно возвратился к позиции, которая сильно напоминала его детские годы, когда, по его словам, он чувствовал «глубокую религиозность... Для меня совершенно ясно, что религиозный рай молодости... был первой попыткой освободиться от цепей „только личного“». "Autobiographical Notes".—In: Schilpp. Op. cit., p. 3, 5. Обсуждение см.: Holton G. Science and New Styles of Thought. — In: "The Graduate Journal", 1967, 7, S. 417—420.

73. Frank. Einstein, His Life and Times, p. 215. Изменение возрений Эйнштейна было вовсе не по душе значительному кругу ученых и философов, первоначально ему симпатизировавших. См., например: Bridgman P. W. Einstein's Theory and the Operational Point of View. — In: Schilpp. Op. cit., p. 335—354.

Другое интересное подтверждение изменившейся гносеологической позиции Эйнштейна появилось уже после того, как эта статья была впервые опубликована. Вернер Гейзенберг в кн.: "Phy-

sics and Beyond" (New York, Harper & Row, 1971, p. 62—66) пишет о своих беседах с Эйнштейном относительно физики и философии. См., например, с. 63, где приводится часть бесед, относящихся к 1925—1926 гг.: «Но ведь Вы не всерьез полагаете, — протестовал Эйнштейн, — что ничего, кроме наблюдаемых величин, не входит в физическую теорию?»

«Не так ли именно Вы и поступили в теории относительно-сти? — спросил я несколько удивленно. — Прежде всего Вы утверждаете, что непозволительно говорить об абсолютном времени, поскольку абсолютное время просто не может быть наблюдаемо; что только показания часов — в движущейся или покоящейся системе отсчета — подходят для определения времени».

«Возможно, я действительно воспользовался таким ходом рассуждений, — согласился Эйнштейн, — но все равно это чепуха. Наверно, я мог бы выразиться более дипломатично, сказав, что с эвристической точки зрения более полезно иметь в виду то, что в действительности можно увидеть. Но в принципе абсолютно неправильно пытаться обосновывать теорию с помощью одних только наблюдаемых величин. В реальности случаются прямо противоположные вещи. Это теория решит, что мы сможем наблюдать».

См. также рассказ Гейзенберга об эйнштейновской критике Маха (там же, с. 63—66).

74. Первоначально озаглавлено: "Motiv des Forschens" (в кн.: "Zu Max Planck 60. Geburtstag". Karlsruhe, Müller, 1918). В английском переводе Джеймса Мерфи издано в качестве предисловия к книге Планка "Where Is Science Going?" (London, Allen & Unwin, 1933, p. 7—12). В более раннем очерке о Планке (1913) Эйнштейн лишь очень кратко сказал о его гносеологии, просто похвалил его работу 1896 г., направленную против энергетиков, и даже не упомянув Маха.

75. Planck M. Positivism and External Reality.—In: "International Forum", 1931, 1, p. 12—16, 2, p. 14—19.

76. Эйнштейн послал свое введение редактору журнала 17 апреля 1931 г., по оказалось, что это слишком поздно, чтобы можно было включить его в номер.

77. Planck M. Positivism and External Reality, p. 15—17.

78. Einstein A. Bemerkungen zu Bertrand Russels Erkenntnis-Theorie.—In: Schilpp P. A. (ed.). The Philosophy of Bertrand Russell. Evanston, Ill: Library of Living Philosophers, 1944, p. 289.

79. В конце жизни Эйнштейн сам признавал подобную позицию в его "Remarks Concerning the Essays Brought Together in This Co-operative Volume". См.: Schilpp. Albert Einstein, p. 679—680: «„Позиция Эйнштейна содержит черты рационализма и крайнего эмпиризма...“ Это замечание абсолютно правильно... Колебания между этими двумя крайностями кажутся мне неизбежными».

IV. ЭЙНШТЕЙНОВСКАЯ МОДЕЛЬ ПОСТРОЕНИЯ НАУЧНОЙ ТЕОРИИ *

1. ГНОСЕОЛОГИЧЕСКИЙ ИМПЕРАТИВ

Альберт Эйнштейн, судя по его публикациям и письмам, рассматривал выражение и разработку своих взглядов на философию науки в качестве одной из своих важнейших задач. По-видимому, для этого имеются две причины. Во-первых, Эйнштейн убедился на основе личного опыта своей научной деятельности, а также общаясь впоследствии с «наиболее способными своими студентами», насколько важными являются дискуссии относительно целей и методов науки¹. Такой интерес являлся не просто следствием интеллектуального любопытства, а определялся самой сутью задачи первооткрывателя: гносеология и наука, говорил он, «являются взаимозависимыми. Без контакта с наукой гносеология становится простой схемой. Наука же без гносеологии — если таковую вообще возможно себе представить — оказывается примитивной и путаной». Однако в то же самое время он предупреждал, что ученый не может себе позволить быть чересчур скованным «приверженностью к определенной гносеологической системе» (Schilpp P. A., p. 683—684). Поэтому он может показаться большим оппортунистом в философии, чем ординарный философ. Но подобное обвинение, по-видимому, мало беспокоило Эйнштейна, так же как и другие более серьезные нападки на его научные взгляды и мнения относительно прочих проблем.

Вторая причина, почему ученый, занимающийся фундаментальными проблемами, не может обойтись без гносеологии, заключается, по мнению Эйнштейна, в том, что

* Aichelburg P., Sexl R. (eds.) Albert Einstein. His Influence on Physics, Philosophy and Politics. Braunschweig/Wiesbaden, 1979.

другого пути попросту нет. В наше время, когда фундамент науки быстро изменяется, «физик просто не может отдать на откуп философу критическое рассмотрение теоретических основ, поскольку именно он лучше знает и вернее чувствует, где собака зарыта» («Ideas and Opinions» *, p. 290).

Исходя из этих соображений, Эйнштейн постоянно выступал в печати по вопросам философии пауки, и показательно то, что он делал это и в наиболее плодотворный период своего творчества (например, в 1914 г. публикует «Принципы теоретической физики, 1916 — «Об Эрнсте Махе», 1918 — «Мотивы научного исследования», 1921 — «Геометрия и опыт», 1933 — «О методе теоретической физики», 1936 — «Физика и реальность» и многое другое, не говоря уже о его письмах к Бессо, Соловину и другим друзьям). С характерной настойчивостью, если не сказать — с упрямством, он ставил перед собой задачу выработки того, что он называл своим «гносеологическим кредо». Более того, удивительно, насколько постоянен был он в этих своих усилиях — по крайней мере начиная с 1914 г., после наибольшего творческого подъема, когда ему пришлось совершить нечто вроде философского паломничества.

Поэтому в последние четыре десятилетия своей жизни он выступает не только как выдающийся ученый, но и как популяризатор, педагог и философ-ученый, следуя традициям Анри Пуанкаре, Эрнста Маха и других представителей предыдущего поколения. Совершенно очевидно, что к этой роли просветителя он относился весьма серьезно и пытался сделать все возможное, чтобы писать ясно и понятно для неспециалиста. И вот оказалось, что человек, который был известен прежде всего благодаря своим легендарным усилиям по созданию наиболее непонятных и наиболее неприемлемых теорий, стал — и по сей день остается — одним из наиболее читабельных и читаемых ученых. Его эссе были опубликованы в самых отдаленных уголках мира, и естественно, что появились многочисленные тома комментариев на его высказывания. Я рад — и это вполне в духе намерений самого Эйнштейна — представить здесь

* Ниже это название будет цитироваться в сокращенном виде: I.O. — *Прим. перев.*

анализ основных его гносеологических воззрений, написанный в расчете на широкого читателя.

2. ПИСЬМО К СОЛОВИНУ

Во всех сочинениях Эйнштейна выделяется одна мысль, к которой он постоянно возвращается, — мысль о модели научного мышления и, конечно, мышления в целом. Ядро этой модели оформляется на первых страницах его «Автобиографических заметок»², которые я уже анализировал³. Однако наиболее сжатое и четкое изложение его модели можно найти в письме, которое Эйнштейн написал своему другу Морису Соловину в 1952 г. Я всегда считал, что по мастерству изложения и способности суммировать глубокие и трудные для выражения мысли это письмо в переписке Эйнштейна является уникальным. Поэтому оно так подходит для того, чтобы вновь рассмотреть его кредо и тщательно изучить его краткие объяснения в контексте с другими публикациями по тому же вопросу, а следовательно, чтобы свести воедино многие из методологических представлений, разбросанные в его сочинениях.

Соловин был одним из старейших друзей Эйнштейна; они встретились в Берне в 1902 г. и после того, как Соловин уехал из Берна, переписывались. В письме от 25 апреля 1952 г. Соловин признается, что ему трудно понять одно из высказываний Эйнштейна в работе, которую он переводил для публикации во Франции. «Не будете ли Вы так любезны, — спрашивает Соловин, — объяснить более подробно место... которое не вполне ясно. Вы пишете: *Оправдание (чувство правильности) системы содержится в доказательстве полезности получающихся теорем на основе данных чувственного опыта, причем связи первого с последним могут восприниматься лишь интуитивно...*» Здесь Соловин высказывает свою озадаченность и требует ответа.

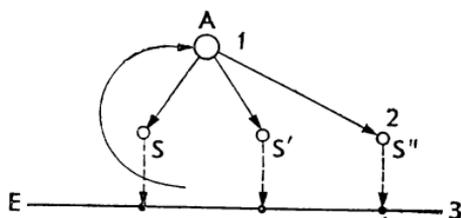
Свой ответ от 7 мая 1952 г. Эйнштейн начинает в характерной для него свободной и лишенной всякой высокопарности манере: «Дорогой Соло! Вы нашлапали меня в своем письме... однако, — продолжает он, — вы совершенно меня не поняли во всем, что касается гносеологических вопросов. Возможно, я неважно выразился». Затем следует замечательное объяснение роли чувства опыта, интуиции и логики в работе воображения. Ниже мы уви-

дим, что, как и следовало ожидать, Эйнштейн делает ударение на последовательности шагов в создании научной теории или в процессе открытия, а не на последующую переформулировку результатов, предпринятую для того, чтобы удовлетворить требованиям издателей научных журналов или философам, заинтересованным в оправдании предложенных теорий.

Будет также отмечено, что в то время, как из контекста вопроса Соловина и ответа Эйнштейна ясно видно, что Эйнштейн говорит о модели для мышления в *науке*, он нигде впоследствии не использует слово наука; а отдельные примеры, которые он приводит (скажем, соотношение между понятием «собака» и соответствующим опытом), берутся не из научных теорий. Это вполне согласуется с типичным для него отказом допускать существование неестественных и не необходимых связей. Поэтому он постоянно повторяет, что мы имеем здесь дело с континуумом (непрерывным процессом): «Научная мысль есть развитие донаучной мысли» (I. O., p. 276); «все это в такой же мере и таким же образом приложимо к мышлению в повседневной жизни, как и к более строгому и систематически организованному мышлению в науке» (там же, с. 23; см. также с. 324). Эта точка зрения, возможно, лучше всего выражена в его утверждении, что «вся наука есть не более чем усовершенствование повседневного мышления» (там же, с. 290). Однако именно по этой причине критически мыслящий физик не должен ограничивать рассмотрение понятий только своим собственным полем деятельности, а обязан «критически рассмотреть намного более сложную проблему — проблему анализа природы повседневного мышления» (там же). Возможно, именно по этой причине Эйнштейн и поставил вопрос: «Что, собственно говоря, есть мышление?» в начале своих «Автобиографических заметок», а затем в продолжение всего обсуждения практически ничего не говорил о науке.

3. ДАНО: «ЛАБИРИНТ ЧУВСТВЕННЫХ ВПЕЧАТЛЕНИИ»

Свое объяснение Соловину Эйнштейн начинает так: «Суть дела схематически мне представляется таким образом», и затем следует чертеж (что не удивительно, поскольку мы знаем, что Эйнштейн предпочитал наглядные представления). Этот набросок, отличающийся большой



Р и с. 2

1. Система аксиом
2. Вытекающие из аксиом утверждения
3. Совокупность непосредственно данных ощущений

ценностью и простотой, заключает в нескольких линиях значительный объем информации (рис. 2). На схеме представлен истинно циклический процесс, и Эйнштейн начинает обсуждение с определения этапа, на котором процесс должен как начинаться, так и заканчиваться:

«1. Нам даны E — непосредственные данные нашего чувственного опыта».

Это относится к проходящей внизу рисунка горизонтальной линии, обозначенной буквой E и сопровождаемой словами: «Совокупность непосредственно данных ощущений». Естественно, что это — первое, с чего Эйнштейн начинает свое рассмотрение, так же как и «восприятие чувственных впечатлений» является первым, на чем он останавливается, пытаясь ответить на вопрос «Что есть мышление?» в «Автобиографических заметках». Оно же должно появиться и в конце [цикла], когда мы возвращаемся на уровень чувственного опыта, чтобы оценить, охватывает ли наша теория наибольшее возможное количество фактов, доступных нам в опыте, что и представляет собой в конце концов заключительный этап проверки теории.

Тонкая линия, обозначенная буквой E , содержит некоторую неопределенность. Ее лучше всего представить в виде бесконечной плоскости, на которой располагаются различные данные чувственного опыта или наблюдения, к которым необходимо привлечь наше внимание, нечто вроде множества отдельных точек. Естественно, это будет «вся совокупность опытных фактов» (там же, с. 271) или «вся совокупность чувственного опыта» (Schilpp P. A., p. 11, 12 и далее). Сами точки на этой плоскости составляют некую обескураживающую вселенную элементов, «настоящий лабиринт чувственных впечатлений» (I. O., p. 291), относительно которого мы никогда не можем быть абсолютно уверены, что он не является «результатом или

люзий или галлюцинаций» (там же). Действительно, конечная цель науки может быть выражена так: «Наука есть попытка привести хаотическое разнообразие нашего чувственного опыта в соответствие с логически однородной [обобщенной] системой мышления» (там же, с. 323). Хаотическое разнообразие «фактов» приводится в систему с помощью построения на его основе структуры мышления, которая указывает на наличие связи и порядка: «В такой системе отдельные данные опыта должны быть сопоставлены с теоретической структурой таким образом, чтобы получающееся соответствие являлось единственным и убедительным» (там же).

К этому надо добавить, что Эйнштейну было бы излишне указывать на то, что данные чувственного опыта или «наблюдений» в действительности никогда не бывают чистыми и незамутненными. Даже отец позитивизма Огюст Конт писал («Курс позитивной философии», 1829), что без какой-либо теории, которая связывала бы явление с некоторыми принципами, «было бы не только невозможно объединить отдельные наблюдения и сделать сколько-нибудь полезные выводы, но и невозможно было бы даже запомнить их, а наши глаза просто не замечали бы большинство фактов». Безусловно, Эйнштейн говорит иногда об «опыте» или «фактах» в смысле, совершенно отличном от того, что Эрнст Мах понимал под словом «элемент». В различных своих сочинениях под фактами Эйнштейн понимал, например, невозможность вечного двигателя, движение по инерции, постоянство скорости света, равенство инертной и гравитационной масс (там же, с. 307, 309; ср. письмо к Бессо, цитированное в: Holton G. Thematic Origins..., p. 229). Тем не менее в самом упрощенном случае *E* на рис. 2 может рассматриваться как множество простых чувственных восприятий.

4. ВОСХОЖДЕНИЕ К СИСТЕМЕ АКСИОМ

Теперь используем схему рис. 2, чтобы проиллюстрировать, возможно, самую замечательную концепцию Эйнштейна в гносеологии. На схеме имеется дуга с острием на конце, которая, поднимаясь над областью хаотических данных наблюдения, упирается в самый верх чертежа. Она символизирует тот факт, что при определенных обстоятельствах можно решиться на смелый скачок, «весьма

рискованную» попытку (там же, с. 254), «творческую попытку вслепую» (там же, с. 286), т. е. на отчаянное предприятие, за которое берутся тогда, когда все поиски иных путей оказываются исчерпанными. Высоко над бесконечной плоскостью E помещается кружок, обозначенный: « A — система аксиом», который рождается из стреловидной дуги, как вспышка света в конце траектории снаряда.

В объяснении Эйнштейн пишет:

«2. A — это аксиомы, из которых мы выводим заключения. Психологически A основаны на E . Однако нет логического пути, ведущего от E к A ; есть только интуитивная (психологическая) связь, которая постоянно «возобновляется».

Ясно, что Эйнштейн придерживался той точки зрения, что при формулировании идей — как повседневных, так и научных — процесс мышления или открытия протекает не по классической модели Милля, т. е. не путем создания логической лестницы посредством обобщения по индукции множества индивидуальных наблюдений. Такой метод «приемлем для науки лишь в период ее юности» (I. O., p. 283). Эйнштейн не желал также следовать совету Эрнста Маха и оставаться, насколько это возможно, в пределах плоскости E , ограничив себя поисками наиболее экономичных выражений для соотношений между элементами, находящимися на этой плоскости, поскольку именно то, чего здесь недоставало, объяснял Эйнштейн в своих «Автобиографических заметках», было «существенно творческой, бесстрашной природой мышления, в особенности научного мышления» (Schilpp, p. 21).

На рис. 2 дуга как раз и представляет собой тот бесстрашный прыжок или творческий поиск вслепую на пути к A — аксиомам или фундаментальным принципам, которые должны быть провозглашены в отсутствие всякого логического пути к ним (сначала, возможно, только на пробу) на основе догадок, предположений, «вдохновения», «намека» или «предчувствия». Здесь мы имеем дело прежде всего с личностным процессом создания теории или инновации — этапом, который еще не открыт для изучения посторонним, да и сам первооткрыватель мало что в нем понимает. Но тем не менее прыжок вверх рассматриваемой схемы символизирует именно тот драгоценный момент концент-

рации огромной энергии, «страстного желания понять» (I. O., p. 342), который возникает в результате встречи с хаотическим *E*. Действительно, здесь имеется ясная и примечательная параллель между процессом, изображенным на рис. 2, и моделью, которую Эйнштейн выдвигал для объяснения мотива исследования. Как он писал по этому поводу, ученый, мыслитель или художник, для того чтобы скрыться от хаоса мира, образованного опытом, создает «упрощенный и ясный образ этого мира», помещая в него «центр тяжести своей эмоциональной жизни» (цит. по: *Holt n G. Thematic Origins...*, p. 377).

Как и следовало ожидать, Эйнштейн ничего не говорит о механизме, посредством которого предположение или предчувствие поднимается до уровня аксиомы или фундаментального принципа. Однако именно так он поступает в своих научных статьях и, более того, совершенно искренне в этом признается. Например, на первых же страницах своей первой статьи по теории относительности он ссылается на несколько хорошо известных экспериментальных фактов, причем о некоторых из них он говорит крайне небрежно, упоминая о них главным образом для того, чтобы сказать без какого бы то ни было дальнейшего разъяснения, что они «ведут к предположению [*Vermutung*], которое он называет *принципом относительности*. Затем без всякого дальнейшего извинения или объяснения он заявляет: «Мы возведем это предположение... в ранг постулата». Более того, он тут же прибавляет, что «введет еще один постулат» (и, конечно, опять же без всякого вступления), а именно постоянство скорости света.

Мы знаем, что путь к этим предположениям и решение возвести их в ранг фундаментальных принципов были не каким-то мгновенным порывом чувств, а результатом многолетних поисков. Эйнштейн вынужден был так поступить потому, что иначе никак нельзя было создать ту фундаментальную теорию, к построению которой он стремился. В своих «Автобиографических заметках» он говорит, что это был акт отчаянья — когда вскоре после 1900 г. он открыл, что традиционный путь построения «конструктивных теорий», как он их позднее назвал, не подходит для более глубоких «теорий-принципов»: «Снова и снова я разочаровывался в возможности открыть истинные законы с помощью конструктивных попыток, основанных на использовании известных фактов. Чем дольше

и чем отчаянней я пытался сделать это, тем более приходил к убеждению, что к надежному результату нас может привести лишь открытие всеобщего формального принципа» (Schilpp, p. 53) ⁴.

5. ДВА ЛОГИЧЕСКИХ РАЗРЫВА

Здесь нам придется несколько задержаться на обсуждении этой дуги-траектории, этого взлета или прыжка (который мы обозначим теперь буквой *J*). Как нередко подчеркивал Эйнштейн (см. анализ в «Автобиографических заметках» и многие другие источники, например I. O., p. 291), в действительности на этой кривой, кажущейся вначале непрерывной, имеются два логических разрыва. Попробуем сначала определить их, сосредоточив наше внимание на «некоторых часто встречающихся комплексах чувственных впечатлений» (там же, с. 291) и «относящихся к ним [zuordnen] понятий» (там же). Это понятие есть нечто вроде «мысленного узла» или «мысленной связи» (там же) между чувственными впечатлениями, и оно «первично» (там же, с. 293), если является близким чувственному опыту. Однако мы выбрали это понятие без всякой логической необходимости, по сути — «произвольно» (там же, с. 291) в том смысле, что «рассматриваемое логически, оно не идентично со всем объемом относящихся к нему чувственных впечатлений, но в то же время это понятие является свободным созданием человеческого (или животного) сознания» (там же) (*человеческое или животное сознание* — еще один ненужный барьер бесцеремонно отброшен!).

Та же самая тема — о логическом разрыве при образовании понятий — появляется снова и снова. Например: «Все понятия, даже те, которые наиболее близки к опыту, являются с точки зрения логики произвольными соглашениями» (Schilpp, p. 13). И еще: «Индуктивного метода, который мог бы привести к фундаментальным понятиям физики, не существует. Неспособность осознать этот факт составляет основную философскую ошибку очень многих исследователей девятнадцатого столетия» (I. O., p. 307). Эйнштейн неоднократно ссылается на Давида Юма и его нападки на индуктивный метод, показывая, что «понятия, которые мы должны рассматривать как существенные, такие, например, как причинная связь, не

могут быть получены из материала, даваемого нам органами чувств» (Schilpp, p. 21).

По тем же соображениям Эйнштейн часто напоминает своим читателям (см., например, I. O., p. 298) о грубейшей ошибке, которая так долго совершалась мыслителями, — о том, что базис евклидовой геометрии считался логически необходимым. Причина этой ошибки лежала в забвении [роли] эмпирической базы, а отсюда — и того ограниченного опытного контекста, внутри которого возникают все понятия. Аналогичная иллюзия оказалась серьезным препятствием на пути создания специальной теории относительности (там же, с. 298—299), а именно убеждения, что существует универсальное время, применимое ко всем событиям в пространстве в целом. Понятие времени долго считалось априори заданным необходимым представлением, которое, очевидно, не зависит от нашего чувственного опыта. Эта ошибка коренилась в забвении того факта, что само понятие времени первоначально возникло в нашем повседневном опыте при наблюдении последовательностей событий, происходящих в некоторой ограниченной части пространства, а не в пространстве в целом.

Лишенные какой бы то ни было уверенности, что наши понятия имеют необходимую связь с соответствующими опытными данными, мы начинаем видеть всю ненадежность дела построения теории. Но с этим ничего нельзя сделать. Мы создаем новые понятия — сначала как бы на пробу, затем присоединяем их к старым, чья полезность уже проверена ранее. При этом мы знаем, что ни те, ни другие не являются неприкосновенными или неизменяемыми, что они никак не могут быть отграничены от плоскости опытных данных, находящейся внизу рис. 2. Возможно, что этот разрыв символизируется промежутком между плоскостью E и началом дуги, упирающейся в A .

Существует и второй логический разрыв, который также определяется «ошибкой допускать прямую зависимость теоретического описания от эмпирических утверждений» (Schilpp, p. 674). Это касается взаимоотношений между понятиями в процессе их совместного использования для выработки системы аксиом, например некоторых постулируемых законов природы: «предложений, выражающих взаимоотношения между первичными понятиями» (I. O., p. 293). Не только каждое отдельное понятие, но и вся «система понятий есть создание человека» (Schilpp,

р. 13), творимое «свободной игрой» разума, оправданию которой лежит исключительно в прагматическом успехе схемы, построенной в конечном счете для того, чтобы создать «критерий для обозрения чувственного опыта, который мы способны получить с помощью чувств» (там же, с. 7).

В таком случае этот двойной разрыв в значительной степени объясняет, почему Эйнштейн снова и снова повторяет высказывание, аналогичное тому, которое он привел в 1918 г.: «К этим элементарным законам логического пути не существует; есть только интуиция, которая подкрепляется соответствием опыту» [Einfühlung in Erfahrung] (I. O., p. 226). Это часто повторяемое утверждение в значительной степени противоречило тогдашним представлениям позитивизма, который цель научных исследований видел, например, в экономии высказываний о соотношении между наблюдаемыми величинами. В то время эта формулировка Эйнштейна вызвала враждебное к нему отношение среди тех философов, которые преувеличивали значение этого элемента общей эйнштейновской схемы. (Вместе с тем необходимо отметить, что в наши дни эйнштейновский антииндуктивизм воодушевил некоторых из наиболее интересных философов науки.)

Однако это высказывание Эйнштейна никоим образом не может быть воспринято как восхваление иррациональности, утверждение примата интуиции или что-либо подобное. Напротив, оно выражает две истины, которые он осознал, так сказать, на самом себе. Первая содержит напоминание о том, что все теории именно из-за того, что они «рукотворны» и являются «результатом чрезвычайно трудоемкого процесса адаптации», являются также и «гипотетическими, никогда не достроенными до конца, всегда подверженными вопросам и сомнениям» (там же, с. 323). Другое высказывание направлено именно против «догматического знания», с тем чтобы утвердить превосходство изобретательности и нововведений — как в науке, так и вне ее — над господствующей догмой. (Эйнштейн саркастически замечает: «Разве Фарадей открыл бы закон электромагнитной индукции, если бы он получил стандартное университетское образование?» (там же, с. 344). Если бы Эйнштейна обвинили в том, что он совлекает с олимпийских высот «фундаментальные представления о мышлении в естествознании и пытается раскрыть их земное проис-

хождение» (там же, с. 365), он бы ответил, что делает это для того, «чтобы освободить эти представления от табу, от присущих им запретов и, таким образом, достичь большей свободы в формировании представлений и понятий. Непреходящей заслугой Д. Юма и Э. Маха было как раз то, что именно они лучше, чем кто-либо другой, выразили эту критическую мысль» (там же) ⁵.

6. ОГРАНИЧЕНИЯ И СВОБОДА

Мы могли бы указать и на другие свойства понятий, с помощью которых формулируются аксиомы. Хотя Эйнштейн обычно и не делал на этом ударение, но совершенно ясно, что необходим именно такой тип понятийных конструкций, который предохранял бы понятие от того, чтобы оно расплывалось, как мыльная пена. Эту роль выполняют определения, которые мы даем каждому абстрактному термину (точка, длина, временной промежуток, электрический заряд). Несмотря на то что определение того или иного отдельного термина является логически произвольным, оно связано с наблюдаемыми величинами при помощи наших «операциональных определений» или «семантических правил», которым мы согласились следовать, раз они были приняты. Еще в 1916 г. Эйнштейн писал: «Понятия имеют смысл только в том случае, если мы указываем объекты, к которым они относятся, а также правила, с помощью которых они приписываются этим объектам» ⁶.

Хорошие примеры этого операционального подхода к понятиям могут быть найдены в тщательном анализе, принадлежащем самому Эйнштейну, в анализе мысленных (математических) и физических операций по измерению времени в его первой статье по теории относительности или в его описании (в более поздних работах) того, что он имеет в виду под такими понятиями, как «твердое тело» или «пространство». Следовательно, схему на рис. 2 можно было бы дополнить, пририсовав тонкие вертикальные линии между E и A для того, чтобы показать, что такие связи могут быть проведены всякий раз, когда будет выбрано «значение» того или иного термина, который входит в научный (или любой) словарь.

Другое ограничение, налагаемое на наш выбор понятий — даже если они (понятия) «имеют чисто фиктив-

ный характер», будучи «произвольными созданиями человеческого интеллекта, которые не могут быть оправданы ни природой этого интеллекта, ни как-либо иначе a priori» (I. O., p. 272), — содержится в призыве Эйнштейна к экономности и простоте. Цель построения хорошей теоретической системы лежит прежде всего в «наибольшем возможном использовании логически независимых элементов (основных понятий и аксиом)» (Schilpp, p. 13). Любое излишество или приукрашивание должны быть исключены, поскольку «основной целью всех теорий является создание этих несводимых элементов, которые, насколько это возможно, должны быть просты и немногочисленны» (I. O., p. 273). С его точки зрения, например, «неудовлетворительной чертой классической механики было то, что в ее фундаментальных законах масса существовала в двух различных проявлениях: в виде инертной массы — в законах движения, и в виде гравитационной массы — в законе тяготения» (там же, с. 308). Эквивалентность этих двух видов массы казалась ему истиной, которую необходимо было вставить в качестве основной аксиомы (в общей теории относительности), вместо того чтобы обременять теорию дополнениями, которые, по-видимому, не были присущи явлениям.

В значительной части результатом собственных исследований Эйнштейна является то, что в течение нынешнего столетия физики столь успешно смогли с помощью лишь очень малого количества постулированных фундаментальных законов обобщить и объяснить — по крайней мере в принципе — такой широкий и все возрастающий поток отдельных опытных фактов. Это, конечно, ни в коей мере не означает, что все уже объяснено или даже что все объяснимо в принципе, но все-таки это — «чудо» и в то же время предпосылка для дальнейшей работы. Этот успех имеет несколько любопытных последствий, к которым мы вернемся несколько позднее.

Одним из следствий этого метода построения гипотез является то, что во время создания теории ее автор должен дать своему предполагаемому «прыжку» на уровень аксиом шанс доказать собственную справедливость. Тогда на этом раннем и обычно глубоко личном этапе теоретизирования исследователь должен обеспечить себя свободой действия, правом на «временную приостановку недоверия», наложить запрет на преждевременные попытки искаже-

ния первоначального замысла (т. е. на попытки дискредитировать выдвинутый постулат при помощи доказательства его неправильности) ⁷.

Однако указанное следствие является гораздо более тревожным. Подобно тому как в принципе имеется бесконечное множество точек на уровне E внизу схемы (рис. 2), так и наверху ее в принципе существует бесконечное множество возможных аксиом или систем аксиом A . И выбор, который тот или иной ученый делает из всех имеющихся возможностей, не может быть всецело произвольным, так как это привело бы его к необходимости вести бесконечно долгий поиск. Как же в действительности он делает свой выбор? То есть какие существуют указания или ограничения, которые помогают (или препятствуют) исследователю сделать данный переход именно к точке A , а не к другой точке A' , который предпочтет сделать другой исследователь на основе тех же самых данных E ? Эйнштейн ничего не говорит об этом в своем письме, однако, как мы увидим ниже, в других местах он написал вполне достаточно, чтобы мы могли здесь рассмотреть этот вопрос более обстоятельно.

7. ЛОГИЧЕСКИЙ ПУТЬ

Вернемся теперь к письму Эйнштейна Соловину. Он продолжает свое объяснение схемы:

«3. Из A логическим путем выводятся частные дедуктивные утверждения, которые могут претендовать на строгость».

Это высказывание обращает наше внимание к той части схемы, где присутствует точное аналитическое мышление и где научное воображение действительно нуждается в «логическом пути». «Логическое мышление по необходимости дедуктивно» (I. O., p. 307), причем оно начинается с гипотетических понятий и аксиом, которые были постулированы раньше — по ходу движения на верх нашей схемы. Следовательно, теперь мы двигаемся вниз от аксиом, выводя необходимые следствия и прогнозы. Если A справедливо, тогда должно следовать S , S' , S'' , ...; или, как в статье 1905 года, если принцип относительности и принцип постоянства скорости света приняты в качестве системы аксиом A , из этого необходимо следуют без всяких дальнейших фундаментальных утверждений формулы

преобразований координат и времени, относительность одновременности, явления так называемого сокращения длины и растяжения времени, а в конце статьи — «характеристики движения электрона, которые вытекают из системы уравнения и доступны экспериментальной проверке... [Эти] соотношения содержат полное выражение законов, согласно которым, как показывает приведенная здесь теория, электрон должен двигаться». Это богатство результатов является естественным следствием плодотворной дедукции Эйнштейна. В замечательной статье «Логическая экономия в работе Эйнштейна «К электродинамике движущихся сред» Роберт Уильямсон⁸ ясно показал логическую согласованность и экономность детальной аргументации Эйнштейна. Данные черты делают еще более правдоподобным тот факт, что вся эта работа явилась кристаллизацией многих годов упорного труда.

Некоторые из тех, кто критиковал эти замечания Эйнштейна как придающие чересчур большое значение интуиции и другим понятиям, уязвимым с логической точки зрения, по-видимому, не обращали внимания на то, какую существенную роль Эйнштейн отводил логическому этапу в творческой фантазии ученого. Хотя он и выступал в защиту признания озарения как необходимой компоненты в формировании фундаментальных гипотез на уровне A , но в то же время он говорил далее, что «структура системы есть дело разума» (I. O., p. 272). Этот этап работы ученого, когда один вывод следует за другим, требует «чрезвычайно интенсивного, упорного размышления» (там же, с. 282), однако в принципе каждый может научиться этому «в школе» (там же, с. 221). Лишь в самом начале существует этап установления принципов (и от них следует вести процесс дедукции), — этап, для которого «не существует методов, которым можно научиться, чтобы затем систематически их использовать... ученому приходится выведывать эти общие принципы у природы» (там же).

8. ПРОВЕРКА ОПЫТОМ

Продолжая свои рассуждения в письме Соловину, Эйнштейн приходит к четвертому, и последнему, этапу, возвращающему нас на плоскость, с которой мы начинали.

«4. Утверждения S сопоставляются [или соотносятся] с E (проверка опытом)».

Стремясь подчеркнуть необходимое различие между тем, что логика может, и тем, что она не может сделать в процессе построения теории, Эйнштейн мимоходом добавляет: «Строго говоря, эта процедура также относится к внелогической (интуитивной) сфере, поскольку отношения между понятиями, содержащимися в S , и данными опыта E не имеют логической природы. [Возможно, именно поэтому Эйнштейн и нарисовал пунктиром стрелки, исходящие от S , S' , ...] Однако отношение S к E (с прагматической точки зрения) содержит значительно меньшую неопределенность, чем отношение A к E . (Например, понятие «собака» и соответствующие ему данные опыта.) Если бы такое соответствие нельзя было бы установить с высокой степенью достоверности (хотя бы и не воспринимаемой логически), то весь логический аппарат для «понимаемости реальности» был бы абсолютно бесполезен (пример: теология).

Квинтэссенцией всего этого является извечная проблема соотношения между миром идей и миром опыта (чувственных восприятий)».

Наиболее интересным в этом отрывке является первое предложение: «Утверждения S сопоставляются с E ». Даже простота этой фразы не может скрыть сложностей, заключенных в ее содержании. Мы стоим теперь на последнем, центральном этапе схемы и смотрим вниз. С позиций имеющихся предсказаний и выводов (S , S' , ...) данной схемы, которая частично является гипотетической конструкцией, а частично выведена по дедукции, мы пытаемся выяснить, существуют ли соответствующие наблюдения в действительности на плоскости восприятий E . Если таковые имеются, мы можем сказать, что различные наши предсказания подтверждаются наблюдением и что, следовательно, мы имеем право относиться к предыдущим стадиям, которые привели нас сюда, с большим доверием (имеется в виду прыжок J от E к A , постулирование аксиом A и дедукция утверждения S). Таким образом, мы завершили цикл, определенный схемой $E \rightarrow J \rightarrow A \rightarrow S \rightarrow E$. Для простоты я буду называть эту схему эйнштейновским $EJASE$ -процессом построения научной теории.

Однако Эйнштейн хорошо понимал, что, если даже предсказания подтверждаются, еще нельзя быть полностью уверенным, что вся теория, т. е. вся конструкция, состоящая из догадок, постулатов и дедукции, обязатель-

но будет правильной. Для этого существуют три причины. Во-первых, правильные предсказания могут быть сделаны и на основе ошибочных аксиом. Так, теории, которые оказались в корне неверными (аристотелевская теория элементов, теория флогистона, теория теплорода), тем не менее в течение долгого времени рассматривались как «прошедшие проверку» благодаря совпадению данных дедукции и наблюдения.

Во-вторых, теорию невозможно рассматривать *в принципе* как «доказанную» раз и навсегда, поскольку это означало бы необходимость ее соответствия всей бесконечности опытов и наблюдений, проводимых не только в данное время, но и во все будущие времена. Такой вещи, как окончательное доказательство или подтверждение теории опытом или наблюдением, не существует. Самое большее из того, что можно утверждать, — это то, что теория становится все более правдоподобной или полезной по мере того, как все возрастающее число различных предсказаний, сделанных на ее основе, соответствует все увеличивающемуся объему чувственного опыта, а число данных, противоречащих теории, уменьшается.

В-третьих, и это самое главное: Эйнштейн понял, что, за исключением простейших случаев, нельзя быть уверенным в том, что обычно выдается за «экспериментальные факты», без тщательной проверки. «Подтверждение» теорий часто оказывается результатом неправильной интерпретации данных или же неправильного функционирования экспериментальной аппаратуры. В своей теоретической работе Эйнштейн неоднократно испытывал затруднения, возникавшие в результате тех или иных утверждений экспериментаторов, которые впоследствии оказывались ошибочными. В середине 20-х годов он говорил следующее:

«Вы должны согласиться, что наблюдение — это очень сложный процесс. Наблюдаемое явление есть причина некоторых событий, происходящих в нашей измерительной аппаратуре. В результате и все дальнейшие процессы происходят именно в этой аппаратуре, которая в конечном счете и воздействует различными путями на чувственные впечатления и помогает закрепить эти воздействия в нашем сознании. На протяжении всего этого пути — от явления до его фиксации в нашем сознании — мы должны быть в состоянии сказать, как природа функциони-

рует, и знать ее законы, по крайней мере практически, прежде чем сможем утверждать, что вообще что-либо наблюдал»⁹.

9. КРИТЕРИИ ХОРОШЕЙ ТЕОРИИ:

I. «ВНЕШНЕЕ ОПРАВДАНИЕ»

Какими можно себе представить истинные взаимоотношения между S и E в хорошей теории, по крайней мере в теории такого типа, которая интересовала Эйнштейна и где объектом исследования служит «совокупность физических явлений» (Schilpp, p. 22)? Как мы видим, в эйнштейновской фразе «Утверждения S сопоставляются с E » слова «сопоставляются с» [in Beziehung gebracht] вовсе не то же самое, что «подтверждаются тем-то», как можно было бы прочесть, если бы предполагаемая проверка хорошей теории была бы проверкой на «подтверждение». Но такая трактовка была бы выражением точки зрения, характерной для времени до XX в. и оказавшейся чуждой оптимистичной для оценки правильности научных теорий.

На самом же деле Эйнштейн уже несколькими годами раньше высказал два критерия для оценки правильности теории, два вида проверки, «согласно которым вообще можно подвергать физическую теорию критике» (там же, с. 20). Первый вид проверки проводится в соответствии с тем, что Эйнштейн назвал критерием «внешнего оправдания», и заключается он в подтверждении [Bewähigung] теоретических основ с помощью имеющегося под рукой опытного материала [Erfahrungsmaterial] (там же, с. 22). Проще говоря, критерий таков: «Теория не должна противоречить опытным фактам» (там же, с. 21).

Отметим, что это — принцип неподтверждения или искажения, и он является намного более тонким, чем любое предписание поисков «подтверждения» посредством опытной проверки. Этот принцип, если можно так сказать, более толерантный, поскольку при отсутствии неподтверждения данной теории можно придерживаться правила: «Раз выдвинуто теоретическое положение, его следует твердо придерживаться до тех пор, пока оно не ведет к несостоятельным выводам» (I. O., p. 343); и одновременно он же представляет собой более строгий разграничительный критерий, потому что само наличие неподтверждения уже дискредитирует теорию, а продолжающиеся

поиски подтверждения просто оттягивают окончательное решение о ее достоверности.

Однако критерий неподтверждения вовсе не означает, что возможные подтверждения или совпадения S с соответствующими элементами из E оказываются нежелательными. Напротив, на деле большинство практических экспериментальных исследований проводятся в надежде, что будет найдено соответствие, благодаря которому правдоподобность некоторой выдвинутой перед этой теорией будет увеличена. Но по причинам, указанным выше, отсутствие подтверждения той или иной теории никоим образом ничего не определяет, позволяя равным образом как относиться к ней скептически, так и придерживаться ее — в зависимости от личных склонностей. Что в действительности решает проблему, так это неколебимое и повторяющееся свидетельство неподтверждения.

И оно действительно должно быть неколебимым и повторяющимся. Никто не может и не должен отказываться от теории всякий раз, когда сообщается о ее неподтверждении. Это было бы крайним пределом экспериментализма, недопустимым при современной изощренной и трудоемкой технике эксперимента. В разумных пределах следует всегда быть скептическим — как по отношению к тем экспериментам, которые что-то подтверждают, так и по отношению к тем, которые что-то не подтверждают, в особенности если экспериментальное неподтверждение одной теории используется для поддержки другой, которая по каким-то иным причинам менее привлекательна.

10. КРИТЕРИИ ХОРОШЕЙ ТЕОРИИ: II. «ВНУТРЕННЕЕ СОВЕРШЕНСТВО»

Что может быть этой иной причиной? Что, кроме соответствия критерию «внешнего оправдания», может сделать теорию более привлекательной? Ответ дается с помощью второго эйнштейновского критерия для оценки теории. Он назвал его критерием «внутреннего совершенства», который касается выбора суперструктур в схеме $EJASE$, а именно: J , A и S . Необходимо помнить, что для любого данного случая гарантии того, что элементы теории являются уникальными, не существует. Часто случается, что две совершенно различные теории, с различными J , A и S , возникают на основе одного и того же опытного мате-

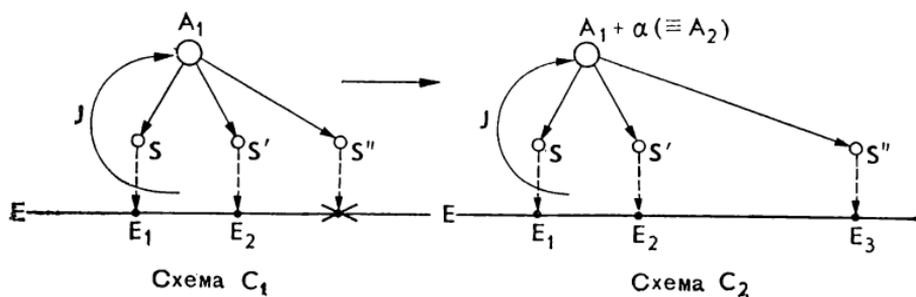
риала и, более того, обнаруживают одинаково хорошее соответствие между их набором S и соответствующими данными чувственного опыта. Наиболее общеизвестный пример — это, конечно, теория Птолемея и теория Коперника в XVI в. Несмотря на разницу в основных аксиомах, обе теории возникли из необходимости объяснить некоторые регулярности и нерегулярности в E , в наблюдаемом движении небесных тел, а предсказания, сделанные на основе обеих теорий, обладали одинаковой степенью соответствия с данными наблюдения.

Второй эйнштейновский критерий был открыто провозглашен в его «Автобиографических заметках». «Вторая точка зрения касается не отношения к материалу наблюдений, а предпосылок самой теории, того, что кратко, но и неопределенно, можно охарактеризовать как «естественность» или «логическую простоту» предпосылок (основных понятий и тех отношений между ними, которые выбраны в качестве основы)» (Schilpp, p. 23).

Это, конечно, не такая уж новая идея. Эйнштейн признается, что она «играет важную роль в выборе и оценке теорий с незапамятных времен». Но на практике требованию «естественности» или «логической простоты» или же требованию «общности и экономности» (I. O., p. 23) никогда не было легко следовать. Эйнштейн предупреждает здесь, что надо остерегаться теорий, которые залатаны при помощи *ad hoc* предположений, введенных только для того, чтобы сделать дедуктивные выводы находящимися в лучшем соответствии с опытными фактами, по мере того как те продолжают накапливаться. «Ибо часто, может быть даже всегда, общим теоретическим принципам можно удовлетворить путем приспособления данной теории к фактам с помощью добавочных искусственных предположений» (Schilpp, p. 21—23). В начале своей деятельности Эйнштейн рассматривал электронную теорию Лоренца именно как такую заплату — в том смысле, что она избегала несоответствия фактам только благодаря введению предположений, специально подобранных для этой цели (введение сокращения длины, чтобы объяснить отсутствие предсказанного результата в эксперименте с увлекаемым эфиром). Этот случай может быть представлен с помощью видоизмененной диаграммы *EJASE*-процесса, как это показано на рис. 3, где схема C_1 изменена так, чтобы получить схему C_2 при помощи замены A_1 на

$(A_1 + \alpha)$, где α — изменение в A_1 , сделанное для того, чтобы достичь лучшего соответствия между дедуктивными выводами S и фактами E .

Безусловно, теории развиваются как-то так, чтобы их можно было применять к новым областям явлений. Но в любом случае такие критерии, как «естественность», «логическая простота» либо «экономия» или «единство и экономность», нелегко отстоять или даже точно определить, поскольку «их точная формулировка... встречает большие трудности» (там же, с. 23).



Р и с. 3.

Это требует от нас не просто «перечисления логически независимых предпосылок», а «способа адекватного сопоставления несоизмеримых качеств» (там же) и, следовательно, оценок, в которых эстетические и другие факторы могут играть важную роль.

Эйнштейн был осведомлен об этом парадоксе, в рамках которого он пытался подойти к проблемам, обнимающим обширные области разнообразного опыта, но все же он искал «простоту и экономность в основных положениях. Вера в то, что оба эти качества могут сосуществовать друг с другом, с точки зрения примитивного состояния нашего знания является религиозной верой. Это в известном смысле религиозное отношение человека, занимающегося научной работой, накладывает некоторый отпечаток на всю его личность в целом» (I. O., p. 357). В другом месте, но примерно в то же самое время (1950) он признает априорную неправдоподобность того, «что совокупность всего чувственного опыта может быть «понята» на основе концептуальной системы, построенной исходя из предпосылок наибольшей простоты. Скептик скажет, что это «вера в чудеса». Пусть так, но эта вера в чудеса под-

тверждается в поразительных масштабах всем развитием науки» (там же, с. 342).

Примером приверженности Эйнштейна к критериям простоты и естественности для фундаментальных представлений в науке, — приверженности, которая преследовала его большую часть жизни, — было непоколебимое неприятие им принципов и программы квантовой механики. Поскольку математическое описание в квантовой механике в принципе имеет дело со статистическими величинами (например, с плотностями в ансамбле систем), то тем самым устраняется в принципе даже сама возможность детального описания поведения отдельного объекта или системы — тех самых вещей, которые более всего доступны нашему чувственному опыту благодаря камерам Вильсона, счетчикам и аналогичным приборам. Подумать только, что такая программа считается правильной, «логически мыслимой и при этом непротиворечивой! Но все это настолько противоречит моему научному инстинкту, что я не могу отказаться от поисков более полного представления» (там же, с. 318; аналогичные высказывания см., например, там же, с. 316; письма к Максу Борну; дискуссию с Нильсом Бором и т. д.). Он знал, что эти поиски более полного представления, может быть, даже обречены на провал. «В конце концов, выбор будет сделан [специалистами в целом] в зависимости от того, какой вид описания соответствует формулировке наиболее простых с логической точки зрения основ». Но до тех пор, пока очевидность остается непреодолимой, он сохраняет за собой право отмежеваться от той «точки зрения, что события в природе аналогичны азартной игре. Каждый человек свободен в выборе направления своих творческих усилий» (там же, с. 334—335).

Использование Эйнштейном всех таких красивых слов, как «инстинкт», «творческое усилие», «интуиция», «чудо», отнюдь не было какой-то преднамеренной провокацией по отношению к некоторым ученым и философам, но тем не менее многими оно именно так воспринималось. Чтобы еще больше усложнить ситуацию, Эйнштейн ссылается на совершенно другой процесс, играющий важную роль в возникновении теорий, — процесс, который хорошо знаком каждому работающему ученому, но который трудно определить. Так, даже когда он признает, что два критерия — «внешнее оправдание» и «внутреннее совершенство» —

не поддаются точному описанию, он придерживается того взгляда, что тем не менее среди «авгуров», тех, кто глубоко проник в разработку «физических теорий, в каждый данный период времени существует соглашение относительно оценки степени внешнего оправдания и внутреннего совершенства (см.: Schilpp, p. 23—25). Более того, отсутствие четкого определения не удержало его от того, чтобы настаивать на полезности представления о существовании некоего единодушия в оценках среди членов научного сообщества.

11. ВЫХОДЯ ЗА ПРЕДЕЛЫ НАБРОСКА ИДЕЙ (PRÉCIS)

Сводя воедино гносеологические взгляды Эйнштейна, выраженные здесь по мере возможности его же собственными словами, я пытался отдать должное его тонкому чувству реальности, подчеркнуть недостаток надежных данных, приблизительный, подверженный ошибкам личностный аспект каждого элемента в процессе построения теории, по справедливости оценить его понимание «извечной противоположности между двумя неотделимыми компонентами нашего знания — эмпирической и рациональной» (I. O., p. 271). Построенная схема весьма далека от каких-то самоуверенных и аксиоматических приемов научной методологии, которая, как справедливо считал Эйнштейн, имеет весьма малое сходство с действительной деятельностью работающего ученого. Но будем осторожны, чтобы не впасть в другую крайность. Несмотря на все свои недостатки, эйнштейновская схема представляет собой по меньшей мере такое описание процесса рассуждения, которое приемлемо для ученых на деле.

Конечно, письмо Эйнштейна Соловину не предназначалось для публикации; это был лишь набросок идей (précis), которыми друзья обменивались между собой. Но тем не менее оно в самой высокой степени призывает к размышлениям, призывает — в духе самого эйнштейновского метода — пойти дальше высказанных в нем представлений, посмотреть, каким образом они могут помочь справиться с другими проблемами построения теории и научного воображения. Как и в самой науке, наша уверенность в правильности схемы увеличивается, если мы обнаруживаем, что она пригодна не только для ad hoc описания той области, для которой она была первоначально

предназначена, но и может быть с успехом применена вне ее. Существует две проблемы, в рассмотрении которых эйнштейновская схема может нам помочь: первая — как происходит рост научной теории и каким образом она уступает путь другим теориям, и вторая — как лучше понять проблемы, связанные с существенно различными теориями, которые касаются одних и тех же экспериментальных фактов.

12. РОСТ ТЕОРИИ

Как мы уже отмечали, схема на рис. 2 не является статичной, а отражает процесс, который состоит в циклическом движении от *E* к *J*, *A*, *S* и снова к *E*. Однако теория вряд ли может быть создана и проверена в результате одного только цикла. Даже теории, которыми мы руководствуемся в нашей повседневной жизни, а тем более установленные научные теории, которые мы почитаем и используем как инструменты, доставшиеся нам в наследство от ремесленников и дискуссий прошлого, представляют собой результат циклов все возрастающей адаптации, делающих их более приемлемыми при помощи обратной связи между циклами, которые благодаря ей постоянно видоизменяются. Более того, этот процесс модификации и роста будет непрерывно продолжаться по мере того, как обнаруживаются новые явления, которые расширяют первоначальную область применения теории. Физика постоянно находится «в процессе эволюции... Эволюция протекает в направлении увеличения простоты логических основ» (там же, с. 322).

Необходимость прохождения множества циклов ($C_1 \rightarrow C_2 \rightarrow C_3 \dots$) в *EJASE*-процессе диктуется по крайней мере нашими человеческими возможностями. Ни мышление само по себе, ни сам по себе чувственный опыт не ведут к получению достоверного знания. Ибо понятия должны подчиняться анализу, который дает уверенность, подобную той, «которая так восхищает нас в математике; но эта уверенность дается ценой пустоты содержания» (там же, с. 276—277). В то же время мы видели, что данные чувственного опыта не могут быть соотнесены с понятиями иначе, как с помощью введения существенно произвольных определений (соглашений), и поэтому относительно них уверенно ничего нельзя утверждать. Следовательно, лучшее из того, что нам остается, — это дать воз-

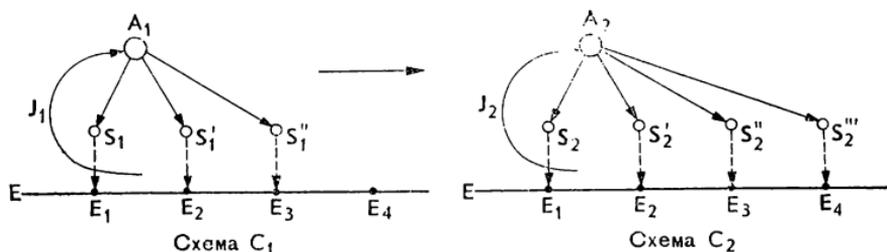
возможность проявиться той степени надежности, которая заложена в нашей теории, проявиться путем взаимодействия мышления с чувственным опытом в результате повторяющегося циклического процесса, находящегося в постоянном движении. Поэтому теории должны быть «все-сторонне разработаны» (там же, с. 282) и постоянно развиваться — сначала в сознании первооткрывателя перед публикацией, а затем в сообществе ученых посредством дискуссий и споров.

Например, после прохождения первого цикла может оказаться, что утверждения S на этой стадии (S_1, S_1', S_1'', \dots) отражают неполное соответствие «фактам» в плоскости E . Эйнштейн приводит случай, который, по его словам, был одной из причин, принуждавшей его работать с 1907 по 1911 г.: в его первых попытках обобщить теорию относительности «ускорение падающего тела было независимо от его горизонтальной скорости или от внутренней энергии системы» в противоположность «давнему экспериментальному факту» (там же, с. 287). Это расхождение заставило переосмыслить набор аксиом A и заменить первоначальную систему аксиом A_1 отличающейся от нее системой A_2 .

Вспомним, как Эйнштейн говорил, что такая модификация должна быть не волевым решением, принятым просто *ad hoc*, а, скажем, преобразованием первоначальной системы аксиом в более общую, которая допускает большее соответствие дедуктивных утверждений S_2, S_2', S_2'' фактам из E и которая по возможности строится на основе наименьшего числа независимых понятий. Таким образом, Эйнштейн смог перейти от первого принципа в ограниченной теории относительности, гласящего, что все законы природы должны быть ковариантными по отношению к преобразованиям Лоренца, к первому принципу общей теории относительности, согласно которому все законы природы должны быть сформулированы так, чтобы их форма не изменялась в системах произвольно движущихся координат (там же, с. 329—330). Таким путем Эйнштейн устранил причину своей неудовлетворенности первоначальной версией теории относительности, а именно тем, что она касалась лишь равномерно движущихся систем, что лишало эту теорию всеобъемлемости. Введение принципа эквивалентности устранило как противоречие между предсказанным значением ускорения падающего

тела и наблюдаемым значением, так и ненужную двойственность (т. е. два понятия массы, о чем говорилось выше).

На рис. 4 схематически представлен процесс перехода от начальной стадии теории к ее заключительной стадии, от C_1 к C_2 и от C_2 к C_3 . C_3 здесь символизирует следующий этап, который Эйнштейн считал необходимым после того, как ему удалось создать общую теорию относительности. Он чувствовал, что «теория не может навсегда оставаться удовлетворенной этим успехом... Мысль о том,



Р и с. 4.

что существуют две независимые друг от друга структуры пространства — метрико-гравитационная и электромагнитная, — была неприемлема для теоретика» (там же, с. 285). Отсюда настойчивые попытки Эйнштейна создать такую теорию поля, которая соответствовала бы «единой структуре пространства» (там же). Снова и снова слово «единство» манит Эйнштейна как олицетворение конечной цели — «поиска наибольшего возможного логического единства в картине мира, т. е. минимальность логических элементов» (там же, с. 293); «таким образом, история продолжается до тех пор, пока мы не придем к системе, отличающейся максимально возможным единством и максимальной экономичностью понятий, составляющих логические основы, к системе, которая при этом остается совместимой с наблюдениями, производимыми нашими органами чувств» (там же, с. 294).

Приведем другой пример побудительной причины перехода от C_1 к C_2 и C_3 . Эйнштейн считал ньютоновскую механику «неполной» с точки зрения требования наибольшей логической простоты постольку, поскольку выбор числа 2 для показателя степени обратной пропорциональности в законе тяготения — самое сердце величайшего

триумфа Ньютона — был эвристическим или сделан ad hoc в том смысле, что он мог быть приемлем лишь потому, что такая формула работала. К тому же сам закон тяготения представлял собой отдельный постулат, не связанный и не выводимый из других понятий в механике, в то время как в общей теории относительности он получается как следствие ее постулатов. Аналогично этому Эйнштейн чувствовал, что лоренцовский синтез механики Ньютона и теории поля Максвелла содержал «явно неестественную» смесь обыкновенных дифференциальных уравнений (уравнения движения частицы или точки) с уравнениями в частных производных (уравнения Максвелла). Это вело к необходимости предположить, что частицы имеют конечные размеры, для того чтобы поля на поверхности не стали бесконечно большими. Для Эйнштейна представлялось «несомненным... что в основаниях любой согласованной теории поля понятие частицы не должно возникать при наличии понятия поля» (там же, с. 306).

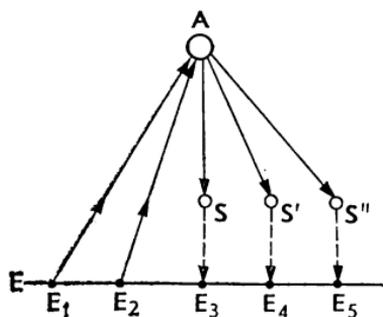
Можно было бы также представить и прогрессивное развитие научной теории как развитие системы понятий на все более высоком уровне «пластов» или формаций, причем каждый следующий пласт все меньше и меньше связан с комплексом данных чувственного опыта (там же, с. 293—295). В таком случае более феноменологические теории на ранних этапах развития науки (скажем, теория теплоты до Максвелла) уступают дорогу более независимым наборам понятий и аксиом, что характеризует, например, кинетическую теорию и статистическую механику. Таким образом, последняя в конце концов позволяет найти — при изучении броуновского движения — границы применимости законов классической теории, а также определить размер атомов и молекул при помощи различных независимых методов.

В этом процессе развития имеются, конечно, и издержки. Так, по мере циклического прохождения теории через ряд стадий на каждой стадии предпринимаются попытки использовать представления, все более удаленные от прямого опыта (например, атомизм). В результате расстояние между E и A увеличивается, а контакт со здравым смыслом слабеет. Но как бы то ни было, фундаментальные идеи и законы науки приобретают все более и более общий характер (см. там же, с. 303). И в конце концов все науки достигают этой конечной стадии.

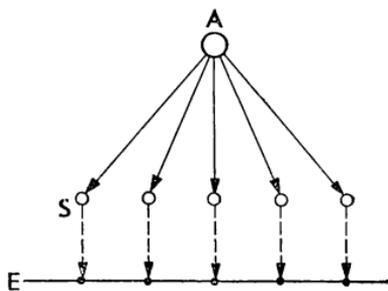
Другой издержкой этого процесса является тот факт, что, чем более общей становится теория, тем дольше ей, возможно, приходится ждать совпадения ее предсказаний с данными опыта. Так, общей теории относительности пришлось ждать до 1919 г., чтобы установить необходимый контакт с E . Но подобная отсрочка может служить хорошим испытанием уверенности теоретика в себе. «Может потребоваться много лет экспериментальных исследований для того, чтобы удостовериться, соответствуют ли теоретические принципы реальности» (там же, с. 222); ибо может пройти слишком много времени, прежде чем удастся открыть «необходимый набор фактов» (там же, с. 223).

13. РАЗЛИЧНЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ЗАКОНЧЕННОЙ ТЕОРИИ

При обычном ходе событий развитие теории приводит ее к стабильной канонической форме. Она входит в учеб-



Р и с. 5.



Р и с. 6.

ники, как правило, в виде варианта педагогической схемы, характеризующейся некоторой перестройкой, направленной на то, чтобы выделить аксиоматическую структуру и затушевать все следы творческой работы, которая была столь существенна и характерна для теории на ранней стадии ее развития. В частности, авторы учебников стремятся умолчать о процессе J , как будто он должен вызывать у нас какое-то смущение. Представление о теории на данном этапе ее жизненного цикла, а также о научных работах, которые основываются на этой теории¹⁰, выглядит так, как показано на рис. 5. Здесь даны несколько явлений (E_1 , E_2 на рис. 5), на основе которых была по-

строена система аксиом, а уже исходя из этой системы были сделаны дедуктивные предсказания, для которых могут быть получены соответствующие экспериментальные подтверждения ($E_3, E_4...$). Или же, как показано на рис. 6, вся теория представляется, как если бы ее отправной точкой было открытие системы аксиом, откуда следует все остальное. Такое представление очень близко по стилю ньютоновым «Началам», а также большинству школьных учебников. Например, законы движения Ньютона и закон тяготения находятся на вершине схемы, откуда исходят дедуктивные утверждения, касающиеся периодичности приливов, формы планет и т. д., а они в свою очередь прямо подтверждаются данными эксперимента, находящимися внизу схемы. Или: из фундаментальных постулатов кинетической теории следуют уравнения состояния газов, вязкости, диффузии, теплопроводности и т. д.; и все они, безусловно, могут быть сопоставлены с широким кругом соответствующих явлений.

Конечно, за исключением того факта, что такое представление ни в коей мере не отражает генезиса теории (который, во всяком случае обычно, мало интересует большинство физиков и философов), схема, представленная на рис. 6, отражает поразительную силу хорошо развитых теорий. То, что они дают нам, это, по выражению Эйнштейна, «взгляд сверху», посредством которого многообразие самых разнородных данных непосредственного чувственного опыта сводится в единую, а следовательно, доступную для понимания схему.

14. ДОСТИЖЕНИЕ ПРОГРЕССА В РЕЗУЛЬТАТЕ ОБЪЕДИНЕНИЯ ТЕОРИИ

Следующий этап в историческом прогрессе науки наступает тогда, когда происходит объединение двух или более теоретических систем, как, например, когда Галилей объединил небесную и земную физики или когда Максвелл осуществил синтез электричества, магнетизма и оптики. Перед объединением или синтезом каждая теоретическая система имеет свою собственную систему понятий; и, хотя они сейчас могут быть более близкими к непосредственному опыту, чем после объединения, им недостает единства различных фундаментальных постулатов, внутри которых они внедрены (см. там же, с. 302). На нашей схеме этот

процесс будет выглядеть так, как это изображено на рис. 7. Слева отдельные системы аксиом для электричества, магнетизма и оптики возвышаются над соответствующими системами утверждений, которые располагаются как отдельные пирамиды над принадлежащими им территориями в плоскости E . После максвелловского синтеза отдельные системы аксиом становятся просто частными случаями более общей системы, включающей уравнения Максвелла. Разграничения между тремя областями на плоскости явлений исчезают, а множество фактов, первоначально соприкасающихся друг с другом, становятся

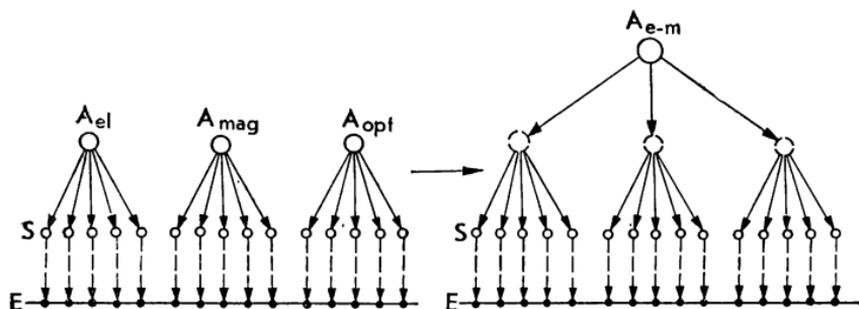


Рис. 7.

частями одного большого множества, вследствие чего их теоретическое описание упрощается (см. там же, с. 223).

Аналогичная символика является подходящей для описания многих замечательных достижений науки, например работы П. А. М. Дирака в конце 20-х годов, посредством которой значительные области физики и химии были подчинены идеям квантовой механики. Продолжающиеся в наше время попытки объединить основные силы природы представляют собой новую главу в этом стремлении описать все многообразие E , совокупность всех точек плоскости E , на основе наименьшего возможного числа независимых систем аксиом. Конечно, это была еще только мечта Эйнштейна — с помощью теории поля найти единую основу для всей физики (см. там же, с. 328—329). Но он выразил эту цель предельно ясно: «С самого начала проявлялось стремление найти общий теоретический базис для всех этих отдельных наук, базис, включающий минимум понятий и фундаментальных соотношений, из которого все понятия и соотношения отдельных дисциплин

могут быть выведены с помощью логического процесса. Это и есть то, что мы подразумеваем под поисками основ физики в целом. Уверенность, что эта конечная цель может быть достигнута, есть главный источник страстной увлеченности, которая всегда воодушевляет исследователя» (там же, с. 324). Вполне возможно, что способность воспроизводить в сознании понятия и соотношения, изображенные в правой части рис. 7, как раз и означает «иметь картину мира», мысленную картину физической Вселенной.

15. РОЛЬ ТЕМАТИЧЕСКИХ ПРЕДПОСЫЛОК

Вернемся теперь к той важной проблеме, которая осталась открытой. Она может быть выражена следующим образом: так как прыжок от E к A на схеме рис. 2 характеризуется логическим разрывом и представляет собой «свободную игру» воображения и так как результатом такого прыжка может быть бесконечное число A (при этом вполне возможно, что все они окажутся бесполезными для построения теоретической системы), то как в таком случае можно надеяться, что этот прыжок будет успешным (причем случайная удача исключается из рассмотрения)? Ответ гласит: условия процесса J таковы, что имеется право совершить прыжок, но нет права сделать *любой* прыжок наугад. Что-то должно указывать, как и в каком направлении нужно совершить этот прыжок, хотя бы уже потому, что позднее предпосылки должны будут подвергнуться испытанию на естественность и простоту, чтобы удовлетворить второму эйнштейновскому критерию хорошей теории.

Главным указателем или ориентиром здесь служат ограничения, которые определяют работу любого ученого, занимающегося фундаментальными проблемами на новом уровне. Эти ограничения обуславливаются явными или — в большинстве случаев — неявными склонностями, предубеждениями, предпосылками. Сам Эйнштейн признавал это и так высказывался по данному поводу: «Если ученый блуждает в своей работе без какой бы то ни было предвзятой точки зрения, то как он вообще сможет отобрать факты из необъятного изобилия чрезвычайно сложных опытных данных, и притом отобрать именно те из них, которые достаточно просты, чтобы позволить законным

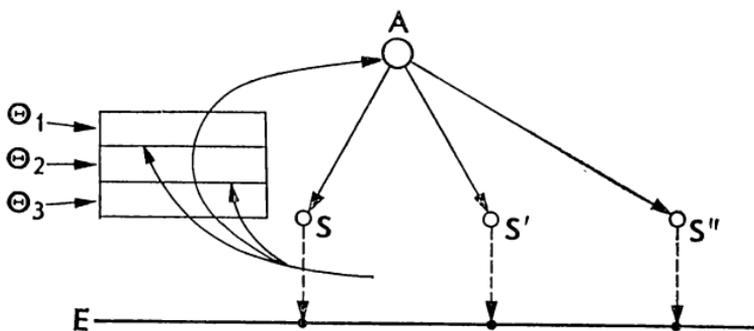
связям стать очевидными?»¹¹. В качестве примера он обсуждал дилемму, суть которой в том, что в формулировке законов механики приходится или следовать «естественной тенденции предполагать существование... материальных точек», что с необходимостью ведет к предпосылкам атомизма, или строить механику непрерывных сред, основанную на другой «фикции», например на том, что «плотность и скорость материи всегда зависят от координат и времени» (там же, с. 302). Эти «фикции» — небезотносительно к тому, что Франк Кермоде в другом контексте назвал «необходимыми фикциями», лежащими в основе литературных произведений, — безусловно, обладают значительной практической ценностью. Например, они определяют развитие математического аппарата (в последнем примере Эйнштейна это дифференциальные уравнения в частных производных), однако при этом представляют собой и нечто гораздо более значительное. Эйнштейн рассматривает их как «„категории“ или схемы мышления, выбор которых в принципе целиком доступен нам, а их оценка может проводиться лишь по степени, до которой их использование способствует тому, что все содержание сознания становится „интеллигибельным“» (т. е. доступным пониманию) (Schilpp, p. 673).

Примером такой категории является различие между чувственными восприятиями и «просто идеями» (там же). Эйнштейн предупреждает, что «мы должны представлять себе «категории» не как неизменяемые (обусловленные природой понимания [и в этом отношении «отличные от кантовских»]), а как произвольные (в логическом смысле) соглашения. Они появляются априори лишь потому, что без установления категорий и понятий мышление вообще было бы так же невозможно, как невозможно дышать в вакууме» (там же, с. 674).

Как я пытался показать на ряде примеров конкретного изучения работы ученого — от Кеплера до Бора. Эйнштейна и до самых современных работ, — мы можем осознать и признать на определенном этапе научного мышления необходимость существования и использования именно таких непроверяемых, нефальсифицируемых и все же не произвольно создаваемых понятий, класс которых я обозначаю с помощью термина «тема».

Среди тем, которыми руководствовался Эйнштейн в построении своей теории, вне всякого сомнения, были сле-

дующие: первичность скорее формального, чем материального, объяснения, единство (или объединение) и космологический масштаб (равноправная применимость законов ко всей совокупности опытных данных), логическая экономность и необходимость, симметричность и простота, причинность, полнота, континуум и, конечно же, постоянство и инвариантность. Именно темы, подобные только что перечисленным, объясняют в каждом отдель-

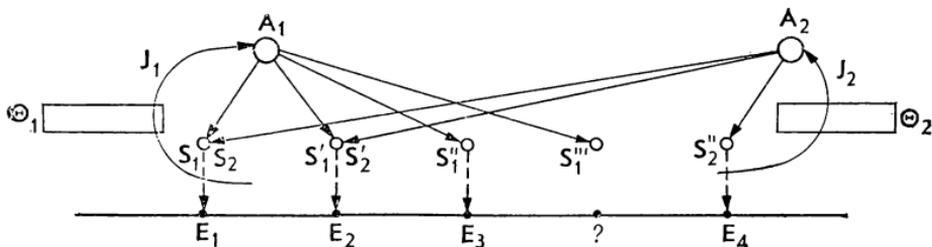


Р и с. 8.

ном случае, почему он настойчиво продолжал свою работу в данном направлении даже тогда, когда проверка опытом была затруднительна или недоступна. Равным образом это объясняет, почему Эйнштейн отказывался принимать теории, которые хорошо подтверждались соответствием опыту, но были при этом основаны на тематических предпосылках, противоречащих его собственным (как в случае квантовой механики боровской школы).

Эта концепция может быть встроена в модификацию схемы, изображенной на рис. 2, чтобы подчеркнуть функцию темы в *EJASE*-процессе. Рис. 8 показывает ряд возможных прыжков от *E* к *A*, но только один из них (или несколько) проходит фильтр, представляющий собой тему, которой придерживается первооткрыватель и которую он включил в свой умозрительный процесс. Например, два предположения, которые Эйнштейн возвел в ранг постулатов в начале своей статьи 1905 г. по теории относительности, являются тематически обусловленными предпосылками. Они подчиняются первичному ограничению — требованию всеобъемлемости и равноправной применимости законов, инвариантности, логической экономности и первичности формального объяснения.

EJASE-схема в ее законченном теперь виде хорошо подходит для того, чтобы представить ситуацию, которая возникает, когда две различные теории претендуют на объяснение одного и того же экспериментального материала. Так, Эйнштейн часто подчеркивал, что его релятивистская механика, по крайней мере в первые ее годы, перекрывалась с ньютоновской по отношению к сфере опытных данных, доступных проверке, хотя эти теории соответ-



Р и с. 9.

вовали «двум существенно разным принципам» (I. O., р. 273).

В анализе спора между двумя соперничающими объяснениями (наиболее близкий нам пример—спор между Милликеном и Эренхафтом о существовании единичного заряда электричества¹²) для меня совершенно очевидно, что разница в выборе темы для соперников объясняет также и многие детали их теорий, и многое в самом споре. Разобраться в этом нам поможет рис. 9. На нем слева изображена система аксиом A_1 , полученная первым из двух ученых. Его тема обозначена θ_1 . Система аксиом дает начало дедуктивным утверждениям S_1, S'_1, S''_1, S'''_1 . Большинство из них соответствует наблюдаемым данным E_1, E_2, E_3 . Но некоторые утверждения (S'''_1) остаются (по крайней мере до настоящего времени) без такого «подтверждения», хотя работы могут вестись именно в этом направлении.

Второй ученый представлен системой, находящейся в правой части схемы. Его система аксиом A_2 получена в результате прохождения первоначальных понятий через ограничительный фильтр θ_2 , являющийся его тематическим набором. В целом система A_2 не слишком отличается от системы A_1 , находящейся слева, так что между дедуктивными утверждениями, сделанными обоими учеными,

существует перекрывание. Так, дедуктивные утверждения S_2 и S_2' , сделанные вторым автором, относятся к тем же самым явлениям E_1 и E_2 по крайней мере постольку, поскольку это можно определить на данное время, точно так же, как S_1 и S_1' . Но система A_2 позволяет сделать утверждение S_2'' , которому нет эквивалента в первой системе и которое соответствует («подтверждается») явление E_4 .

Нечто похожее будет иметь место и в случае, если мы решили получить ответ на вопрос, как может протекать научная дискуссия в продолжении некоторого времени. В процессе обсуждения A_1 или A_2 , или они обе постоянно изменяются, и также происходят соответственные изменения в S_1 и S_2 . В конце концов та или другая из двух систем добивается успеха, что происходит обычно по одному из двух путей. Каждая из двух теоретических систем по отдельности может прийти к такому этапу развития, когда в числе и типе явлений, которые они могут объяснить, уже не будет существенной разницы. То есть с помощью, например, введенной на данный случай поправки в A_2 она также «может объяснить» и E_3 . Если эта ситуация некоторое время удерживается, выбор между двумя системами производится на основе «привлекательности» фундаментальных предпосылок. Эта «привлекательность» сводится к перевесу мнений в научном сообществе, когда выбор делается на основе предпочтения системы, находящейся в рамках темы θ_1 или темы θ_2 . Так, в начальный период, когда теория относительности Эйнштейна не могла отличаться от теории Лоренца или Абрагама по каким-либо существенным различиям в предсказаниях, доступных проверке, Макс Планк, вынужденный на научном собрании признаться, почему он доверяет системе постулатов Эйнштейна в большей степени, чем ее конкурентам, воскликнул: «Она мне ближе до духу»¹³.

Другой ход событий имеет место тогда, когда одна из двух систем дает более доступные проверке предсказания относительно наблюдаемых событий, чем другая, а также имеет меньше (или не имеет совсем) обескураживающих неподтверждений. Но почти никогда ситуация не бывает настолько ясной, чтобы неспособность теоретической системы совладать с отдельным экспериментом сразу бы означала отказ от нее. Гораздо более типичной является ситуация, когда в течение некоторого времени делаются

попытка объяснить отдельные трудности и равновесие нарушается в пользу одной из систем, в то время как другая медленно исчезает с горизонта даже без необходимости быть «опровергнутой».

Можно было бы показать, что модель, содержащаяся в схеме Эйнштейна, будет полезна и при ее дальнейшей разработке, которая поможет нам разобраться в остальных деталях процесса научного воображения. Но это — задача уже другой работы. Сведя воедино различные высказывания Эйнштейна в его собственных формулировках и попытавшись сопоставить их со схемой, которую он сам предложил, мы получили согласованное описание одного из путей, следуя которому человеческий разум может обнаружить порядок в хаосе явлений, а также описание способа передачи этого восприятия другим.

Несмотря на столь значительные претензии, мы не должны думать, что Эйнштейн в этой области — в большей степени, чем в области своих собственных исследований, — пытался навязать какую-то абсолютистскую точку зрения. Он был слишком хорошо осведомлен об опытном характере понимания в научной методологии. Настроения, с которыми он излагает свои идеи, хорошо видны в отрывке из его «Автобиографических заметок», когда, начиная отвечать на свой вопрос: «Что, собственно говоря, есть «мышление»?» — он замечает: «По какому праву, — может спросить читатель, — этот человек столь небрежно и грубо обращается с представлениями в столь проблематичной области — без того даже, чтобы по крайней мере попытаться что-либо доказать? Мое оправдание: все наше мышление имеет характер свободной игры с понятиями; обоснование этой игры содержится в критерии чувственного опыта, которого мы способны достичь с ее помощью».

Поскольку человеческие существа в своей ограниченности сталкиваются с очевидной безграничностью взаимосвязанных между собой загадок Вселенной, мы, несмотря на это, можем попытаться сыграть — согласно метафоре Ньютона — в камешки на берегу огромного океана. Если мы сделаем это хорошо, игра может дать нам в результате столь желанное и необходимое для нас знание — план (вид сверху, *Übersicht*) мира природы, который позволит нам осознать порядок, лежащий в основе явлений в их бесконечном, неповторимом многообразии и их неисчерпаемом взаимодействии друг с другом.

1. См.: Einstein A.— In: "Phys. Zs.", 17, 1916, p. 101 и далее.
2. Эйнштейн написал эти заметки в качестве вступительной статьи для книги: Schilpp P. (ed.). Albert Einstein: Philosopher-Scientist; см. приведенную ниже литературу.
3. Holton G. What, Precisely, is Thinking? Einstein's Answer.— In: French A. P. (ed.). Centennial volume of the International Commission on Physics Education.
4. Схема, приведенная в письме к Соловину, приложима и к созданию теорий-принципов. Это не означает, что Эйнштейн никогда не создавал конструктивных теорий. Примером тому является теория фотонов, включающая объяснение фотоэффекта, которая была опубликована ранее, в 1905 г. Но именно потому, что введение квантов он не рассматривал как нечто более фундаментальное, чем просто «эвристическая точка зрения», касающаяся данной проблемы, он никогда не мог заставить себя относиться к квантовой физике иначе, чем как к варианту анализа. Лишь принципиальные теории, думал он, содержат такие аксиомы-постулаты, находящиеся достаточно высоко над плоскостью чувственного опыта и достаточно далеко от рассуждений ad hoc, чтобы можно было получить созидательную конструкцию, способную управиться со всем множеством опытных фактов. Об эйнштейновских взглядах относительно принципиальных теорий по сравнению с конструктивными теориями, которые он высказывал начиная с 1919 г., см.: I. O., p. 228, 302—303, 318—319, и: Holton G. Thematic Origins... p. 316 и 348. (См. также настоящее издание, с. 86—87 и 112—113.)
5. Однако Эйнштейн относится к Маху и Оствальду несколько иронически за «их позитивистскую философскую направленность», которая привела их в лагерь противников атомной теории. Они стали жертвами «философской предвзятости», главным образом «своей веры в то, что сами факты способны порождать научное знание при отсутствии произвольных концептуальных построений» (Schilpp P. A., p. 49).
6. См. прим. 1.
7. Обсуждение понятия «приостановка недоверия» см. на с. 261—262 настоящего издания. Даже Ганс Рейхенбах, глава нынешних логиков-позитивистов, мог бы согласиться со словами Эйнштейна: «Физик, который занят поисками новых открытий, не может быть

чересчур практичным; вначале он весь во власти догадок и свой путь может найти только в том случае, если движим своего рода верой, которая служит ему ориентиром в его догадках», и т. д. (Schilpp, p. 292). Но затем он стал бы отрицать тот факт, что такой механизм может заинтересовать «философов науки».

8. "Stud. Hist. Phil. Sci", 8, 1977, p. 49—60. См. также: Mittlestaedt P. Conventionalism in Special Relativity.—In: "Foundation of Physics", 7, 1977, p. 573—583.

9. Heisenberg W. Physics and Beyond. New York: Harper and Row, 1971, p. 63.

10. Общепринятая схема написания научных статей, предназначенных для публикации, согласно которой сбор данных и индукция на их основе есть начало научной работы, побудила П. Б. Медавара назвать научную статью «подлогом» и «извращением природы научного мышления» (Medawar P. B. Is the Scientific Paper a Fraud?—In: "The Listener", 1963, p. 377—378).

11. Einstein A. Induktion und Deduktion in der Physik.—In: "Berliner Tageblatt", 25 December 1919.

12. См. настоящее издание, глава VI.

13. Planck M. Prinzip der Relativität (дискуссия в Немецком физическом обществе 23 марта 1906 г.).

Основная литература

Einstein A. Ideas and Opinions. New York: Crown Publishers, Inc., 1954 (новый исправленный перевод на английский Соии Барман), и с несколько другой пагинацией: New York, Dell Publishing Co., 1954. Эти сборники составлены на основе книги "Mein Weltbild"—собрания статей Эйнштейна, изданных Карлом Зелигом, а также на основе других источников.

Среди статей, цитируемых в данной работе по изданию Кроун (Crown edition), находятся следующие: "Remarks on Bertrand Russell's Theory of Knowledge", 1944, p. 18—24. "A Mathematical Mind" (письмо к J. S. Hadamard, 1945, p. 25—26, "Principles of Theoretical Physics", 1914, p. 220—223, "Principles of Research" (правильнее: "Motive of Research"), 1918, p. 224—227.

"What is the Theory of Relativity?", 1919, p. 227—232.

"Geometry and Experience", 1921, p. 232—246.

"On the Method of Theoretical Physics" (Gerbert Spencer Lecture), 1933, p. 270—276.

"The Problem of Space, Ether, and the Field in Physics", 1930—1934, p. 276—285.

"Physics and Reality", 1936, p. 290—323.

"The Fundaments of Theoretical Physics", 1940, p. 323—335.

"On the Generalized Theory of Gravitation", 1950, p. 341—356.

Schilpp P. (ed.). Albert Einstein: Philosopher-Scientist. Evanston, Illinois: The Library of Living Philosophers, 1949. Эта книга включает "Autobiographical Notes" Эйнштейна (p. 3—94), ряд прекрасных статей о нем, написанных учеными и философами, а также дополнительные замечания Эйнштейна (p. 665—688).

Дополнительная литература

Einstein A. and Infeld L. The Evolution of Physics. New York: Simon and Shuster, 1938.

Einstein A. Lettres à Maurice Solovine. Paris: Gauthier-Villars, 1956.

Frank P. H. Einstein, His Life and Times. New York: A. A. Knopf, 1947.

Hoffmann B. Albert Einstein, Creator and Rebel. New York: The Viking Press, 1972.

Holton G. The Scientific Imagination: Case Studies. New York and Cambridge: Cambridge University Press, 1978, ch. 3. (См. также настоящее издание, гл. I и VI.)

Holton G. Thematic Origins of Scientific Thought: Kepler to Einstein. Cambridge: Harvard University Press, 1973, ch. 5—10.

[Точку зрения советских физиков и философов по вопросу о философско-теоретических взглядах А. Эйнштейна см.: «Эйнштейн и философские проблемы физики XX века». М., «Наука», 1979; см. также: Степин В. С. Стаповление научной теории. Минск, издательство БГУ, 1976. — *Ред.*]

От автора

Я хочу выразить мою признательность госпоже Элен Дюкас, а также Фонду Альберта Эйнштейна за помощь и разрешение процитировать высказывания Эйнштейна. Считаю своим приятным долгом поблагодарить Национальный научный фонд и Национальную организацию содействия развитию гуманитарных наук за финансовую поддержку в проведении этих исследований.

КОМО, 1927

Мы безошибочно распознаем историческую новизну каждой эпохи, выявляя идеи и представления, создающие ее неповторимое своеобразие. Одну из таких идей, ставшую поворотной точкой человеческого познания и необратимо изменившую наши интеллектуальные перспективы как в науке, так и в других областях культуры, явило миру происшедшее в середине 20-х годов обновление квантовой механики. Это случилось в сентябре 1927 г. в небольшом итальянском городке Комо во время Международного физического конгресса, посвященного столетию смерти Алессандро Вольта, на котором Нильс Бор впервые изложил в публичном выступлении свою концепцию дополнительности¹. Его слушало большинство ведущих физиков мира, занимавшихся квантовыми проблемами; среди других здесь были: Макс Борн, А. Х. Комптон, Питер Дебай, Энрико Ферми, Джеймс Франк, Вернер Гейзенберг, Макс фон Лауэ, Г. А. Лоренц, Роберт Милликен, Вольфганг Паули, Макс Планк, Арнольд Зоммерфельд, Отто Штерн. Это была поистине встреча на высшем уровне — бросалось в глаза лишь отсутствие Эйнштейна.

В начале своего доклада Нильс Бор отметил, что он хотел бы использовать «только простейшие рассуждения, избегая деталей технического и математического характера». Сообщение и вправду содержало лишь несколько элементарных уравнений, и Бор специально отмечал его методологический характер, но это отнюдь не наводило на мысль о каких-то слишком смелых претензиях. Он заявил

* Holton G. Thematic Origins of Scientific Thought: Kepler to Einstein. Cambridge, Massachusetts, 1973, p. 115—161.

только о своем намерении представить «некоторую общую точку зрения... которая, возможно, поможет примирить открыто конфликтующие взгляды различных ученых».

Произнося эти слова, Бор имел в виду глубокие и неустранимые противоречия между квантовым и классическим описанием физических явлений. Вот четыре примера этого рода:

1. Классическая механика, имеющая дело с движением достаточно больших объектов (планет, бильiardных шаров и т. п.), исходит из возможности в принципе сколь угодно точного и сколь угодно изолированного от влияния наблюдателя определения «состояний описываемых ею систем». Напротив, квантовая механика связывает наблюдение «состояния объекта» с неустранимым воздействием на этот объект, что происходит, например, при попытках определить орбиту электрона или направление распространения фотонов. Причина этого проста: все атомы, входят ли они в состав наблюдаемой системы или прибора, обладают лишь конечной чувствительностью к внешним возмущениям; согласно же «квантовому постулату» (фундаментальному физическому принципу, впервые сформулированному Планком), энергия передается лишь дискретными порциями, не сводимыми к произвольно малым размерам.

2. Отсюда следует, что классические системы можно считать изолированными, хотя в процессах наблюдения они и подвергаются, конечно, каким-то воздействиям, ибо поглощаемая и испускаемая за время наблюдения энергия (скажем, энергия света, отражающегося от движущегося шара) ничтожно мала по сравнению с той, которой обмениваются в своих взаимодействиях отдельные компоненты таких систем. Имея же дело с квантовыми системами, уже нельзя пренебрегать взаимодействием между «наблюдаемой системой», иногда не вполне точно именуемой «объектом», и средствами наблюдения, о которых подчас столь же вольно говорят как о «субъекте». Мысленный эксперимент Гейзенберга с «гамма-микроскопом» является самой известной иллюстрацией квантовой специфики: движение электрона «наблюдается» в рассеиваемых им гамма-лучах, но он и сам при этом отклоняется от первоначального пути.

3. В «классических» системах мы имеем дело с одновременно сосуществующими обычными причинными свя-

зьями и пространственно-временными координатами. Однако для квантовых систем таких причинных зависимостей уже не существует: система типа атома или радиоактивного ядра, будучи предоставленной самой себе, испытывает чисто вероятностные изменения, такие, как испускание атомом фотона или ядром — элементарной частицы. Но тот же самый «объект», подвергнутый пространственно-временным наблюдениям, уже не проявляет подобных изменений. Оба взаимоисключающих описания поведения квантовой системы надо рассматривать как в равной мере существенные или «истинные», хотя они и не обнаруживают себя одновременно.

4. Наконец, можно упомянуть об обсуждении в 1927 г. в докладе Бора «интенсивно ведущейся дискуссии по вопросу о природе света... Что касается света, его распространение в пространстве и времени, как известно, адекватно описывается электромагнитной теорией. В частности, интерференционные явления в вакууме и оптические свойства материальных сред всецело управляются принципом суперпозиции волновой теории. Тем не менее сохранение энергии и импульса при взаимодействии излучения с веществом, проявляющееся в фотоэлектрическом эффекте и эффекте Комптона, находит адекватное выражение в выдвинутой Эйнштейном идее световых квантов»². В те годы повсеместно ощущалась неудовлетворенность парадоксальностью корпускулярно-волновой природы света и вытекающей отсюда необходимостью использовать в различных ситуациях такие несовместимые друг с другом теории, как классическая волновая оптика и фотонная теория. Эйнштейн, выражая это недовольство, написал в апреле 1924 г.: «Сегодня у нас есть две теории света, ни от одной из которых мы не можем отказаться; приходится, однако, признать, что, несмотря на двадцать лет колоссальных усилий физиков-теоретиков, между ними не удалось найти каких-то логических связей»³.

Ключевая проблема, порожденная разрывом между двумя способами описания физической реальности, состояла в следующем: можно ли надеяться на то, что, как не раз бывало в прошлом, одна из альтернативных теорий окажется лишь частным случаем другой или даже сольется с нею, как слились небесная и земная физики, когда Галилей и Ньютон доказали их тождественность? Или все же придется примириться с сосуществованием этих

способов, несмотря на все различия между ними? Останется ли непрерывность, лежащая в самой основе классической физики, навечно несовместимой с дискретностью атомных процессов?

Попробуем теперь проинтерпретировать сложившуюся к 1927 г. ситуацию в терминах тематического анализа, и нам сразу станет ясно, что физика унаследовала от своего «классического» (до 1900 г.) и квантового (после 1900 г.) периодов противоположные тематические наборы. Так, центральной темой первого периода была тема непрерывности, хотя она и сосуществовала с атомистическими представлениями. И наоборот, главной темой второго периода стала тема дискретности, также, впрочем, сосуществовавшая с альтернативной ей тематической ориентацией, воплощенной в волновой теории электромагнетизма и в более новых теориях Луи де Бройля и Эрвина Шредингера.

Старая физика, кроме того, принимала как нечто само собой разумеющееся классическую причинность, а в обиход новой стали входить идеи неопределенности и вероятностных распределений как имманентных аспектов понимания реальности, а вместе с ними — и идея статистического описания. Старая физика обычно не оспаривала возможности однозначного разделения субъекта и объекта, новая же пришла к осознанию их взаимосвязанности и условности любых разграничений между ними. Поэтому Бор предложил называть «явлением» лишь совокупное описание наблюдаемой физической системы и используемого для этого наблюдения прибора.

Выход из тупика, найденный Бором в 1927 г., сводился в своей сути к следующему: стремиться не примирять противоречия альтернативных типов физического описания, а понять их дополнительность по отношению друг к другу. Сама альтернативность выражает здесь то обстоятельство, что, если использовать для описания природы тот единственно доступный для нас язык, на котором мы можем обмениваться информацией о результатах экспериментов, целостность мира можно будет передать лишь на основе привлечения дополнительных систем такого описания⁴. Внешняя парадоксальность и противоречивость различных объяснений не должна отвлекать наше внимание от этой лежащей в их основе целостности. Любимым афоризмом Бора были слова Шиллера: «Только полнота

порождает ясность». Сегодня ясность создается не упрощениями, сводящими все явления к единственной наглядной модели, а исчерпывающим взаимоналожением различных описаний, включающих явно противоречащие друг другу понятия.

Подводя в 1949 г. итоги своему докладу в Комо, Нильс Бор подчеркнул, что необходимость общения на обычном (классическом) языке обрекает на неудачу все попытки провести четкую границу между атомным «объектом» и измерительным прибором.

«На международном конгрессе физиков в Комо, посвященном памяти Вольты и созванном в сентябре 1927 г., новейшие успехи атомной физики были предметом обстоятельных дискуссий. В своем докладе я развил тогда точку зрения, которую кратко можно охарактеризовать словом «дополнительность»; эта точка зрения позволяет, с одной стороны, охватить характерную для квантовых процессов черту неделимости и, с другой стороны, разъяснить существующие в этой области особенности постановки задачи о наблюдении. Для этого решающим является признание следующего основного положения: *как бы далеко ни выходили явления за рамки классического физического объяснения, все опытные данные должны описываться при помощи классических понятий.*

Обоснование этого состоит просто в констатации точного значения слова «эксперимент». Словом «эксперимент» мы указываем на такую ситуацию, когда мы можем сообщать другим, что именно мы сделали и что именно мы узнали. Поэтому экспериментальная установка и результаты наблюдений должны описываться однозначным образом на языке классической физики.

Из этого основного положения, обсуждение которого стало главной темой излагаемой здесь дискуссии, можно сделать следующий вывод. *Поведение атомных объектов невозможно резко отграничить от их взаимодействия с измерительными приборами, фиксирующими условия, при которых происходят явления.* В самом деле, неделимость типичных квантовых эффектов проявляется в том, что всякая попытка подразделить явления требует изменения экспериментальной установки и тем самым влечет за собой возможности принципиально неконтролируемого взаимодействия между объектами и измерительными приборами. Вследствие этого данные, полученные при раз-

ных условиях опыта, не могут быть охвачены одной-единственной картиной; эти данные должны скорее рассматриваться как *дополнительные* в том смысле, что только совокупность разных явлений может дать более полное представление о свойствах объекта»⁵.

Бор тогда же отметил еще одно удивительное обстоятельство: наблюдатель может изолировать себя и свой прибор от изучаемых явлений лишь ценой отказа от каких бы то ни было наблюдений. Как только оборудование смонтировано, наблюдаемая система и приборы сливаются в неразделимую целостность, и поэтому результаты измерений будут существенно зависеть от измерительной техники. В этом можно убедиться хотя бы на хорошо известном примере со световым лучом, проходящим через двойную диафрагму или испытывающим упругое рассеивание: в первом случае появляется интерференционная картина, что демонстрирует волновой характер процесса, а во втором — свет будет вести себя как поток отдельных частиц. Более того, аналогичные результаты получаются и при замене света потоком электронов или нейтронов. Эксперимент, одновременно демонстрирующий наличие у материи на атомном уровне как волновых, так и корпускулярных свойств, неосуществим: каждый прибор будет создавать картину только какого-то одного типа.

Познание мира — это изучение искусственных явлений, возникающих в процессах взаимодействия ученого с окружающей его реальностью; сами же явления всегда наблюдаются через призму той или иной теории. Таким образом, различные экспериментальные условия порождают и различные образы «природы». Считая, например, свет только волновым или только корпускулярным феноменом, мы в том и другом случае слишком многое упускали бы из вида, однако и приписывание ему *одновременно сосуществующих* волновых и корпускулярных свойств также было бы чрезмерным упрощением. Наше знание о свете создается множеством противоречащих друг другу утверждений, полученных в экспериментах различных типов и проинтерпретированных в различных теоретических моделях. Ответ на вопрос «что такое свет?» состоит в следующем: наблюдатель, его приборы, эксперименты, теории и интерпретативные модели, *а также* нечто, заполняющее темную комнату при включении электрической лампочки, — все это, вместе взятое, и есть свет.

Хотя доклад Нильса Бора в Копенгагене и не встретил возражений, но отсюда не следует, что значение новой концепции было сразу же осознано всеми. Типичной реакцией, вероятно, было убеждение, что сказанное «не заставит нас изменить наше собственное мнение о квантовой механике»⁶. Ряд выдающихся физиков (правда, они оказались в меньшинстве) не приняли концепцию дополненности или даже выразили негативное отношение к ней. На первом месте здесь был Эйнштейн, подробно ознакомившийся с идеей Бора уже через месяц — на очередном Сольвеевском конгрессе в Брюсселе в октябре 1927 г. Он не был в восторге даже от ранней геттингенско-копенгагенской интерпретации квантовой механики, основанной на темах разрывности и классической причинности. 28 августа 1926 г. Эйнштейн писал Эренфесту: «Я отношусь к квантовой механике с восхищением и подозрением», а 4 декабря того же года он заметил Бору: «Квантовая механика требует серьезного внимания: я предчувствую, что истина еще не здесь. Теория дает довольно много, но пока она не приблизила нас к тайнам Всевышнего. Я убежден, во всяком случае, что Он не играет в кости»⁷.

Почти через четверть века Эйнштейн все еще был в оппозиции к принципу дополненности, добавив новые возражения: «Мне кажется ошибочным теоретическое описание, непосредственно зависящее от эмпирических утверждений, что характерно, например, для боровского принципа дополненности, точной формулировки которого я, несмотря на многочисленные попытки, так и не смог к тому же уяснить»⁸.

Бор с самого начала понимал, что его подход, в основе которого лежала идея дополненности, был скорее программой будущих исследований, чем законченной концепцией. Именно это и явилось для него «чрезвычайно ценным толчком к тому, чтобы вновь рассмотреть различные аспекты той ситуации, с которой мы сталкиваемся при описании атомных явлений», равно как и к тому, «чтобы еще отчетливее выяснить роль измерительных приборов»⁹. Однако, как мы увидим ниже, со временем Бор нашел в принципе дополненности нечто такое, что далеко выходило за рамки первоначального контекста. Чтобы показать, какое значение Бор стал придавать ему впоследствии и сколь глубокие корни своих идей отыскал он в прош-

лом, упомянем пока лишь об одном эпизоде. После награждения в 1947 г. датским орденом Слона он должен был выбрать для себя герб, которому предстояло храниться в церкви замка Фредериксборг в Хиллероде. Фигура



Рис. 10. Герб, выбранный Нильсом Бором после того, как он был награжден датским орденом Слона в 1947 г.

Из книги: Rozental St. (ed.). Niels Bohr: His Life and Work as Seen by His Friends and Colleagues. New York, John Wiley & Sons, 1967.

на гербе (рис. 10) выражает идею дополнительности; девиз над нею гласит: «Противоположности дополняют друг друга», а сама она оказывается древним китайским символом Инь и Ян — двух враждебных и в то же время вечно переплетающихся начал бытия.

Как же могла возникнуть точка зрения, столь далекая от устоявшейся в науке традиции строгого разделения наблюдателя и наблюдаемого? Поиск разнообразных корней и предпосылок этой далекой от окончательного завершения концепции, осуществляемый как в области физических теорий, так и в сфере философских идей, кажется мне очень интересной проблемой. Пока что не приходится говорить о каком-то однозначном ее решении, но уже сейчас можно сообщить ряд полезных результатов, интересных, в частности, и тем, что они могут способствовать лучшему пониманию процессов взаимодействия научных и общекультурных традиций.

Прежде всего стоит взглянуть на развитие ранних идей о природе света. Нас не должно удивлять то обстоятельство, что наша современная тема уже была присуща взглядам, восходящим к античности. Как отмечалось в первой главе этой книги, общее количество фундаментальных тем научного мышления относительно невелико, и в различных воплощениях они остаются главной опорой творческого воображения.

Одно из популярнейших в древности представлений о природе света было создано пифагорейцами, считавшими, что лучи испускаются глазами, как бы «ощупывающими» тем самым внешний мир. Евклид сравнивал эту картину с действиями слепца, ощупывающего своей палочкой находящиеся вокруг предметы. Более утонченную концепцию того же рода можно найти в птолемеевском «Альмагесте», созданном уже во II в. нашей эры, откуда она и была заимствована потомками.

Очевидно, что в основе таких теорий лежит идея «контактного» взаимодействия между наблюдателем и наблюдаемым, которая представлена также и в ином, менее материалистическом воплощении¹⁰. Предметы здесь обнаруживают себя посредством силы прикосновения (что-то вроде отброшенного классической физикой действия на расстоянии), проникающей в человеческую душу и переносящей испускаемые ими образы или изображения. Платон утверждал, что открытый глаз излучает внутренний свет, но для своего функционирования в качестве органа восприятия он нуждается и в «другом свете», исхо-

дящем от Солнца или иных источников, а затем отражаемом предметами. Это объяснение опять-таки строится на основе признания взаимосвязи внешнего и внутреннего миров.

Эмиссионные теории порождали много проблем. Как, к примеру, крохотный человеческий зрачок может вместить изображение целой горы? Однако, несмотря на все эти затруднения, теория испускания лучей в XVII в. стала основой развития оптики, причем уже во взглядах того времени можно обнаружить вполне современную идею, что каждая точка освещенного тела сама испускает бесконечное число лучей во всех направлениях. Но сам наблюдатель теперь рассматривается уже независимо, играя роль лишь регистратора, воспринимающего некоторые из лучевых пучков. Такие пучки отныне не являются тем, что древние называли *lux*, т. е. светом как субъективным феноменом; скорее, это *lumen* — поток световых «объектов».

Действительным началом нового периода в развитии оптики являются работы Кеплера, еще в 1604 г. в комментариях к Вителло, а позднее в опубликованной в 1611 г. «Диоптрике» описавшего преломление света внутри шара, например в наполненном водой сферическом сосуде; эти результаты он применил и к объяснению действия зрачка, заложив тем самым основы оптики зрения. Главная его идея такова: световой пучок, проходя через зрачок, фокусируется на глазное яблоко расположенными позади зрачка линзами, вследствие чего каким-то образом возникает ощущение; *как именно — это уже лежит за пределами оптики*. В «Диоптрике» Кеплер впервые описал действие линз на световые лучи. Важно, что большинство изображений, строящихся методами лучевой оптики, вообще нельзя увидеть, используя глаз в качестве оптического инструмента. Из физики отныне исчезли все скрытые образы, родственные виды и «взаимоузнавания» душ, обсуждавшиеся некогда неоплатониками, а вместе с ними ушла и идея взаимосвязи наблюдателя и наблюдаемого. *Lux* был побежден *lumen*-ом.

Теперь ясно, как оптика приобрела «современный» характер, — ценой разрыва связей, самоочевидных для древних. Представления о том, что происходит «объективно вовне» и что случается со светом при его прохождении через глаз, оказались отделенными друг от друга. Достиг-

нудое Кеплером в чем-то было необходимой предпосылкой достижений Ньютона: кто-то должен был впервые заинтересоваться, что делается со светом, падающим па экран или на сетчатку (тот же экран, помещенный внутрь глаза, — для физики световых явлений здесь нет никакой разницы!), перестав при этом задумываться о чувственных впечатлениях. Как сказано в авторитетном учебнике физики Мюллера, вышедшем как раз за год (1926) до появления концепции дополнительности, первейшей задачей физической оптики «является строгое разграничение между объективными световыми лучами и сенсорным восприятием света. Физическая оптика изучает лишь лучи, а внутренние процессы между глазом и мозгом относятся к области физиологии и, возможно, психологии». Эти процессы, следовательно, полностью исключаются из ведения физики!

Мы видим здесь ту же попытку разделения первичных и вторичных качеств, количественных и чувственных сторон бытия, которая три столетия назад лежала в основе усилий Галилея и других ученых его времени, направленных па создание новой механики. Можно напомнить, что Галилей поступал с падающими телами примерно так же, как Кеплер — со светом: отказавшись от телеологических идей и представлений об активных началах, он развил концепцию «имперсональных», объективных и причинных законов движения. В ньютоновской оптике наблюдатель со своими ощущениями уже не занимал особого места. Только па этом пути и могли быть открыты такие важнейшие свойства света, как конечность его скорости, существование лучей, к которым человеческий глаз нечувствителен, сходство между светом и другими излучениями, скажем рентгеновскими, и т. п.

Разделение *lux*'а и *lumen*'а, субъекта и объекта, наблюдателя и наблюдаемого, а тем самым разрушение ранней холистической физики было долгим и мучительным процессом. Он привел к успеху не только физику, но и другие науки, причем по одной и той же причине: потому что интеллектуальный мир человека и его физическое окружение стали теперь гораздо богаче. В 1927 г. читатель работ по физике не мог не сознавать, что новейшая теория света, простирающаяся от концепции электромагнитного поля до методов конструирования оптических приборов, столь же деантропоморфизирована, как и прочие области

физики, и что свет описывается лишь как lumen — и никак иначе.

Но теперь уже вызревали зерна новых взглядов на природу света, посаженные еще в древности. Правда, эти взгляды выражались пока что в донаучных понятиях, порожденных просто здравым смыслом — началом любого познания; они проявлялись в операциональных интерпретациях некоторых важнейших оптических терминов. И, вспоминая о них, мы выявляем другую цепочку идей, ведущих к концепции дополнителности.

ОПЕРАЦИОНАЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ

Один из старейших и фундаментальнейших принципов оптики гласит, что в однородной среде свет распространяется по прямым линиям. Задумаемся, однако, над основаниями нашей веры в истинность этого принципа.

Самый прямой способ проверки — поместить на пути луча множество мельчайших экранов, скажем меловую пыль. И мы заметим, что первоначальный луч будет испытывать многократное рассеивание, а используемый нами прибор взаимодействует при этом с изучаемым явлением, разрушая его.

Подобная ситуация типична для атомного уровня. При желании проверить, скажем, первый закон Ньютона мы, наблюдая качение шара по горизонтальной плоскости или движение любых других «обычных» тел, не встретились бы с подобного рода затруднениями. Конечно, какое-то воздействие со стороны прибора неизбежно и здесь, но оно лишь незначительно и может быть заранее учтено. Мы вправе пренебречь тем обстоятельством, что наблюдатель и «объект» должны обменяться хотя бы одним световым квантом. Поэтому на основе прошлых наблюдений можно с уверенностью экстраполировать и будущее движение объекта, что дает основание для использования пространственно-временного описания и классической причинности. Но в атомных масштабах все происходит совершенно иначе. Чем точнее мы узнаем о прошлых состояниях частиц и световых квантов, тем с меньшей уверенностью можем следить за их последующими движениями: взаимодействие с прибором имеет вероятностный характер и не поддается предварительному учету. Более того, из-за соотношения неопределенности нельзя даже определить нерво-

начальное состояние системы, по крайней мере в том смысле, который вытекает из классической причинности.

Однако, чтобы избежать возмущения всего светового пучка, принцип прямолинейности можно проверить и по-иному — расположить несколько щелей вдоль одной и той же прямой и посмотреть, пройдет ли свет сквозь каждую из них. Но и здесь возникают новые проблемы. Как убедиться в том, что щели действительно расположены по прямой? Можно было бы приложить линейку — но ведь ее мы считаем прямой лишь потому, что не видим изгибов или выступов; и, какими бы способами ни убеждаться в этом, нам не обойтись без использования все тех же световых лучей, так что в наших рассуждениях появляется замкнутый круг. Конечно, эту трудность также можно обойти, поскольку для проверки прямолинейности расположения щелей есть и более тонкие способы, однако здесь также возникают свои проблемы. Чем точнее мы хотим определить путь света, тем более узкими надо делать щели, в результате чего возникает дифракция от их краев и увеличиваются потери световой энергии.

Перед нами вновь возникает инструментальное «спаривание» между наблюдателем (прибором) и наблюдаемым. Пытаясь придать принципу прямолинейности операциональный смысл, мы приходим к выводу, что он оказывается в значительной степени лишь пустым утверждением.

Поэтому физики обычно предпочитают пользоваться другим, более общим принципом. Это принцип наименьшего времени Ферма (1650), который гласит, что свет проходит между любыми двумя точками по такому пути, на котором время прохождения оказывается минимальным. Он объясняет прямолинейность распространения света в однородных средах и законы отражения и преломления на границах между средами. Однако этот принцип незаметно влечет за собой довольно загадочную идею о том, что свет как бы «разведывает» различные пути своего движения, находя в конце концов тот, который проходится им за минимальное время. Здесь легко предположить существование другого, не столь явного инструментального «спаривания». Возникает подозрение, что те свойства света, которые мы ему приписываем, в какой-то мере отражают свойства тех пространственных областей, где этот свет распространяется.

Обращаясь к другому хорошо известному опыту, этот вывод можно сделать совершенно прозрачным и очевидным. Так, при прохождении света через двойную щель на экране возникает интерференционная картина, зависящая от геометрии прибора. Если же одну из щелей закрыть, изменится и вид интерференционных линий. Все это может быть элементарно объяснено классической волновой теорией света. Однако в случае, если в эксперименте будет использован очень слабый световой поток, когда вероятность одновременного прохождения двух или более фотонов через одну и ту же щель крайне мала, наблюдается весьма интересный эффект. Хотя, казалось бы, теперь нельзя пользоваться классическим языком и утверждать, что каждый фотон должен проходить в какой-то определенный момент лишь через одну из щелей, но если они обе по-прежнему открыты, интерференционная картина будет идентична наблюдавшейся в эксперименте с сильным пучком, когда одни фотоны можно было считать проходящими через первую щель, а другие — через вторую. Эта же идентичность — что не менее важно — сохраняется и после закрытия одной из щелей, так что и в этом случае результаты опыта не зависят от интенсивности света. Интерференционная картина и в случае слабого пучка зависит от числа открытых щелей, хотя совершенно непонятно, как бы фотон мог «узнать», проходя через первую щель, открыта или закрыта вторая. Этот эффект наводит на мысль, что экспериментальное наблюдение света зависит в своих результатах не только от него самого, но и от строения прибора (в данном случае «коробки» с прорезанными щелями), через который он проходит: ведь мы экспериментируем над всей системой, состоящей из света и этой «коробки». В итоге операциональное исследование законов распространения света вновь подводит нас к идее дополнительности.

ОТ СООТВЕТСТВИЯ К ДОПОЛНИТЕЛЬНОСТИ

Конечно, Нильс Бор находился под сильным влиянием уроков своих собственных исследований с 1912 по 1925 г. — их успехов и неудач. О построенной им в 1912—1913 гг. модели водородного атома сегодня обычно вспоминают прежде всего из-за ее великолепных предсказаний частот эмиссионных спектров. Чтобы добиться этого, Бор

усиленно пытался примирить две явно противоречащие друг другу концепции света: электромагнитную теорию Максвелла, объясняющую свет как волновой процесс, и теорию Эйнштейна, приписывающую световой энергии дискретный характер. В своей статье 1905 г. Эйнштейн, говоря об одной «эвристической» точке зрения, касающейся возникновения и превращения света, писал: «...Энергия пучка света, вышедшего из некоторой точки, не распределяется непрерывно во все возрастающем объеме, а складывается из конечного числа локализованных в пространстве неделимых квантов энергии, поглощаемых или возникающих только целиком»¹¹.

Эта столь необычная теория Эйнштейна к 1912 г. еще не имела неопровержимых доказательств, хотя некоторые эксперименты по фотоэффекту уже делали ее правдоподобной^{11а}. Действительно же общепризнанной необходимость принятия квантовой теории света стала лишь после опубликованных в 1916 г. результатов Милликена и выполненного в 1922 г. эксперимента Комптона.

В этой ретроспективе особенно ощутимой была смелость боровской модели (1912—1913 гг.). Вспомним ее первоначальную форму, которая впоследствии сильно усложнилась. Атом водорода имеет в центре (куда его и поместил Эрнест Резерфорд, в манчестерской лаборатории которого Бору довелось гостить) ядро, вокруг которого вращается электрон. Когда атомы газа получают дополнительную энергию, например при его нагревании, они возбуждаются — электроны переходят с нижних, наиболее устойчивых орбит на более высокие. Но такие состояния неустойчивы — в конце концов электрон вновь возвращается на какую-то из ближайших к ядру орбит, испуская при этом фотон с энергией $h\nu$, что соответствует излучению света частоты ν или длины волны $\lambda = \frac{c}{\nu}$ (где c — скорость света). Различные частоты, наблюдаемые в спектре водорода, интерпретируются как фотоны различных энергий, соответствующих допустимым переходам электронов между стационарными состояниями.

Все успехи этой модели, объяснившей известные спектральные серии водорода, предсказавшей существование новых серий, которые вскоре были открыты, и создавшей прочную основу для понимания химических свойств элементов, не могли все же скрыть того факта, что она по-

рождала множество непростых проблем, что ясно осознавал и сам Бор. Во-первых, модель была противоречива. Она использовала представление о классическом электро-не, вполне наблюдаемой частице, движущейся с определенной скоростью по определенной орбите. Этот планетарный образ атома сочетался с совершенно неклассической гипотезой, согласно которой существуют устойчивые, стационарные состояния электрона, находясь в которых он не излучает энергии: ведь, согласно теории Максвелла, вращающийся по любой орбите электрон должен постоянно терять энергию и в конце концов падать на ядро. Сформулированный Бором постулат, согласно которому электрон теряет энергию лишь при переходах между стационарными состояниями, был совершенно необходим для спасения его атома от подобного разрушения. Кроме того, а также в противоположность существовавшим тогда представлениям, частота испущенного фотона отнюдь не равнялась частоте обращения электрона по начальной или конечной орбите.

Вспоминая те годы, М. А. Туве заметил, что «атом Бора был абсолютно иррациональным и абсурдным с точки зрения как пютоновской механики, так и максвелловской электродинамики... Был изобретен математический формализм, лишь «описывающий» атомные состояния и переходы, но по самой своей сути непригодный для описания самих реальных процессов, например процессов переходов»¹².

Бор с самого начала осознавал весь трагизм этих противоречий, стремясь скорее подчеркивать их, чем затушевывать. Объяснение атомных спектров, считавшееся главным успехом его модели, для него самого было в какой-то мере лишь побочным результатом; своей же основной задачей он считал анализ противоречий между квантовой и классической физикой. Наиболее точно выразил это Макс Джеммер: «Вполне понимая наличие глубокого пробела в концептуальной схеме своей модели, Бор считал, что реального прогресса в поисках квантовой теории не будет до тех пор, пока фокусом теоретического анализа не станут именно противоречия между квантовыми и классическими понятиями. Корни этого противоречия он пытался выявить во всей их глубине. В этих поисках основ он и ввел революционное понятие „стационарных“ состояний „указывая тем самым, что они образуют нечто вроде залов ожидания, переходы между которыми приводят к испусканию

порций энергии, соответствующих различным спектральным линиям“ [как это выразил сам Бор в своем докладе Копенгагенскому физическому обществу от 20 декабря 1913 г.]»¹³. В конце этого доклада Бор говорил: «Надеюсь, что я выражался достаточно ясно, чтобы вы могли осознать, в какой степени все эти соображения противоречат той блестяще упорядоченной совокупности идей, которая представлена в классической электродинамике. Делая упор на этих различиях, я пытался создать у вас впечатление, что со временем все же удастся установить определенную согласованность новых представлений».

Эта методологическая стратегия *акцентирования концептуального противоречия как средства его разрешения* нашла свою кульминацию через четырнадцать лет, когда был выдвинут принцип дополнительности. Но еще до этого Бор выдвинул другое предложение, ставшее относительно успешным компромиссом между классической и квантовой механикой, которое после 1918 г. получило название «принципа соответствия».

Произошло это так: все еще надеясь на примирение альтернативных способов описания, Бор обратился к изучению той области физических явлений, где обе механики — классическая и квантовая — перекрываются, переходя одна в другую. Так, согласно атомной модели Бора, соседние орбиты далеких от ядра электронов очень близки друг к другу, и легко показать, что квантовые переходы между ними порождают излучение той же частоты, какую предсказывает классическая теория: в частности, частота излучения оказывается равной частоте обращения электрона по его орбите*. Таким образом, если «атомы» достаточно велики, а «круговые токи» все еще достаточно малы по сравнению с макроскопическими приборами, возникает совпадение, или, как принято говорить, соответствие, между предсказаниями обеих теорий.

Тем самым классическая физика делается предельным случаем более сложной физики — квантовой. Макроскопические эксперименты не открывают лежащих в основе всех физических явлений квантовых закономерностей только потому, что в них наблюдаются лишь переходы

* В этом так называемом квазиклассическом случае частоты близких друг к другу электронных состояний приблизительно совпадают. — *Прим. перев.*

между состояниями с большими квантовыми числами. Величина кванта действия оказывается ничтожно малой по сравнению с характерными энергетическими параметрами таких систем, и различия между отдельными состояниями делаются столь незначительными, что практически все они сливаются в один непрерывный континуум.

В руках Бора и его сотрудников принцип соответствия стал весьма эффективным инструментом исследований. Связанные с ним надежды и ожидания Бор выразил в письме А. А. Майкельсону от 7 февраля 1924 г.: «Возможно, Вам будет интересно узнать, что человек, убежденный в глубинной реальности квантовой теории, может придерживаться взглядов, гармонирующих с такой же глубинной реальностью волновой теории... Кажется, принцип соответствия позволит найти наилучший по сравнению со всем, что делалось раньше, способ связать дискретность атомных процессов с непрерывностью поля излучения... Надеюсь вскоре послать Вам работу на эту тему, написанную в соавторстве с доктором Крамерсом и доктором Слэтером»¹⁴.

Но как раз вскоре после публикации этой совместной работы Бора, Крамерса и Слэтера в 1924 г.¹⁵ начались эксперименты Вальтера Боте и Ганса Гейгера, а также А. Х. Комптона и А. Саймона, результаты которых нанесли прямой и решительный удар по таким ожиданиям. Отныне стало ясно, что, хотя принцип соответствия и помог на время залатать дыру, все же он не был действительно глубоким решением проблемы.

Еще до этих открытий было известно, что боровская модель не может избавиться от таких, например, затруднений, как несовместимость волновых представлений, которые только и придают смысл понятиям частоты и длины волны испущенного света, и представлений корпускулярных, лежащих в основе гипотезы о вращающемся вокруг ядра электроны, или как противоречие между понятием классической причинности, управляющей, как считалось, орбитальным движением электронов, и идеей вероятностного описания, на основе которой рассматривались их переходы между орбитами. Кроме этого, подлежало пересмотру даже представление о «самотождественности» атома, ибо его уже нельзя было наблюдать без неконтролируемого возмущения состояния, в котором он пребывал до наблюдения.

Эти проблемы оставались в центре внимания многих физиков. Так, Шредингер и де Бройль надеялись сгладить бьющие в глаза противоречия между темами непрерывности и дискретности, предложив для явлений, ранее описывавшихся в квантовом языке, новые объяснения, основанные на идеях волновой механики. В своей первой работе этого рода Шредингер писал: «Вряд ли сейчас нужно подчеркивать, какие преимущества можно было бы извлечь из описания квантовых переходов не как электронных скачков, а как энергетических сдвигов между различными модами колебаний. Изменения таких мод можно считать непрерывными в пространстве и времени процессами, равными по своей продолжительности эмиссионным процессам»¹⁶. На этом пути можно надеяться сохранить пространственно-временное описание и классическую причинность.

Блестящие работы Шредингера вызвали у физического сообщества огромный интерес. Аналогичные результаты получил и Гейзенберг, но совершенно иным способом, основанным на созданной им матричной механике. В своей монографии по истории квантовой механики Макс Джеммер замечает: «Это был алгебраический подход, отступающий от наблюдаемой дискретности спектральных линий и потому подчеркивающий элементы *разрывности*; несмотря на отказ от классического пространственно-временного описания, это была теория, основывающаяся на понятии *частицы*. Что же касается Шредингера, то он исходил из хорошо разработанного в классической гидродинамике аппарата дифференциальных уравнений, поддававшегося вполне наглядной интерпретации; это был *аналитический* подход, обобщающий классические законы движения и подчеркивающий элементы *непрерывности*»¹⁷. «Те, кто испытывал тоску по непрерывности, страшась опровержения классической максимы «природа не делает скачков», провозгласили Шредингера глашатаем новой истины. Всего лишь за несколько месяцев его теория буквально «пленила» физиков... Рассказывали о таких словах Планка: «Я читаю это, как ребенок, размышляющий над тайной»; эта теория привела в восторг и Зоммерфельда»¹⁸. Таким же было и отношение Эйнштейна, еще в 1920 г. писавшего Бору: «Я не верю, что проблему квантов следует решать, отбрасывая идею континуума».

Здесь перед нами, конечно, пример интеллектуальной привязанности, того «непреодолимого желания», которое

характерно для полной поглощенности определенной темой. Редко приходится наблюдать столь открытую борьбу между различными темами, соперничающими в поисках сторонников, столь явный конфликт между альтернативными эстетическими критериями выбора между теориями, претендующими на описание одних и тех же экспериментальных данных. И ничто не может более убедительно обнаружить глубину и пристрастность личных мотиваций ученых, чем их реакции на несовместимые между собой концепции. Гейзенберг так писал Паули: «Чем больше я размышляю о физическом содержании теории Шредингера, тем сильнее делается моя неприязнь к ней». Шредингер в свою очередь оценил теорию Гейзенберга не менее откровенно: «Она меня разочаровала, если не оттолкнула»¹⁹.

Если использовать введенное ранее понятие *тематической оппозиции*, обсуждавшееся в первой главе настоящего издания, а также и в других работах²⁰, можно сделать следующий вывод: в 1927 г., вскоре после спора Гейзенберга и Шредингера, Бор предложил новый подход к решению фундаментальных проблем квантовой механики, позволивший ему *принять оба члена тематической оппозиции — непрерывность и дискретность — в качестве равно адекватных картин реальности*, не пытаясь растворить один из них в другом, как это было при разработке им принципа соответствия. Бор понял и то, что эта оппозиция соотносится с другими парами альтернативных тем, также не поддающихся сближению или взаимопоглощению, — таких, например, как разделение и взаимосвязь субъекта и объекта или классическая и вероятностная причинность. Вывод, который Бор сделал из этих констатаций, относится к числу редчайших в истории человеческой мысли: в физику была эксплицитно введена новая тема, или по меньшей мере явно идентифицированная тема, до того не осознававшаяся в качестве ее компоненты. Точнее говоря, Бор предложил физикам принять оба члена оппозиции — θ и $\bar{\theta}$, — несмотря на то, что одновременно они не могут находиться в фокусе познания. Ни тема θ , ни ее антитема $\bar{\theta}$ не должны превращаться в какую-то новую физическую сущность; их сосуществование можно описать формулой: «либо одио, либо другое», причем выбор зависит от тех теоретических или экспериментальных проблем, которые ставим мы сами. Нетрудно видеть, что всем заин-

тересованным сторонам, независимо от того, состояли ли они из защитников θ или $\bar{\theta}$, нелегко было принять новую тему — ведь тогда пришлось бы признать, что наиболее глубокая истина заключается в существовании того самого парадокса, который раньше все стремились исключить или преодолеть.

ПАУЛЬ МАРТИН МЁЛЛЕР И УИЛЬЯМ ДЖЕМС

При внимательном отношении к высказываниям и суждениям Нильса Бора в его работах можно найти и другой корень дополнительности. Сразу вызывает интерес то, что Бор уже начиная с 1927 г. иллюстрировал трудности разделения субъекта и объекта на примерах, заимствованных из свидетельств о фактах обыденного опыта, чтобы, по выражению Оскара Клейна, «облегчить физикам, считавшим его взгляды слишком радикальными или таинственными, понимание новой ситуации, сложившейся в их науке»²¹. Для этого он, согласно Клейну, пользовался простым и наглядным способом, предлагая вспомнить о посошке, которым можно нацунать себе путь в темной комнате. Человек, посох и комната образуют единое целое — здесь никак не фиксирована граница между субъектом и объектом. Если человек крепко сжимает посох, границу можно провести у его свободного конца; в противном же случае сам посох можно считать объектом исследования. Этот пример удивительно напоминает ситуацию, о которой говорилось выше в связи с эмиссионной теорией света.

Изучая труды Бора, мы вновь и вновь убеждаемся, что использование, казалось бы, не относящихся к делу примеров или аналогий было для него отнюдь не просто дидактическим приемом. Свой доклад в Копенгагене он закончил так: «Однако я надеюсь, что идея дополнительности поможет охарактеризовать ситуацию, демонстрирующую далеко идущую аналогию с наиболее общими затруднениями, возникающими при попытках выразить суть различий между субъектом и объектом». Сходные и делающиеся все более определенными замечания появляются и в дальнейшем, когда Бор занимается обсуждением проблем дополнительности. Так, в статье «Квантовая физика и философия» (1958), занимающей ведущее место во втором сборнике трудов Бора, озаглавленном «Статьи 1958—

1962 годов об атомной физике и человеческом познании»,* делается вывод: «В общефилософском аспекте знаменательно здесь то, что... в других областях знания мы встречаемся с ситуациями, напоминающими ситуацию в квантовой физике. Так, цельность живых организмов и характеристики людей, обладающих сознанием, а также и человеческих культур представляют черты целостности, отображение которых требует типично дополнительного способа описания... Мы имеем здесь дело не с более или менее туманными аналогиями, а с отчетливыми примерами логических связей, которые в разных контекстах встречаются в более широких областях знания»²². Для нашего анализа очень важно понять, что именно Бор имел при этом в виду.

Кое-что проясняется, если вспомнить одну историю, которую нередко рассказывал Бор, когда он хотел сделать понятнее точку зрения дополнительности. Бывший на протяжении многих лет его ассистентом Леон Розенфельд, специально занимавшийся проблемой источников дополнительности, вспоминал, насколько всерьез Бор принимал свои постоянные возвращения к этой притче. «Все, близко общавшиеся с Бором в институте**, должны были знакомиться, как только они начинали прилично владеть датским языком, с одной небольшой книгой: это было частью их профессиональной тренировки»²³.

«Небольшая книга», которой пользовался Бор, принадлежала перу датского поэта и философа прошлого века Пауля Мартина Мёллера. В забавной новелле «Похождения датского студента» Бор обнаружил то, что он называл «ярким и наводящим на размышления описанием взаимодействий между различными аспектами нашей жизненной позиции». Студент пытается объяснить, почему он не может воспользоваться представившейся ему возможностью получить практическую работу, описывая при этом те трудности, которые ему причиняют размышления:

«Моя бесконечная рефлексия лишает меня возможности достичь чего-нибудь в жизни. К тому же я начинаю думать о своих мыслях, относящихся к тем ситуациям, в

* Впервые эта статья была напечатана в журнале «Успехи физических наук», т. 67, 1959, вып. 1. — *Прим. перев.*

** Имеется в виду созданный Бором копенгагенский Институт теоретической физики. — *Прим. перев.*

которые я попадаю. Я даже размышляю о том, что я обо всем этом думаю, разделяя себя в итоге на удаляющуюся в бесконечность последовательность различных «Я», постоянно следящих друг за другом. Ни на одном из них я не могу остановиться, и, даже если в какой-то момент я это и делаю, тут же возникает новое «Я», совершающее то же самое. В итоге я лишь запутываюсь и впадаю в смятение, как от взгляда в бездонную пропасть, а все мои умственные усилия приводят только к ужасной мигрени».

А дальше студент замечает: «Разум не может действовать, не направляя себя по определенному пути, который он, однако, должен осмыслить еще до того, как ему последовать. Поэтому мы обдумываем каждую мысль еще до того, как она приходит нам в голову, и любое размышление, представляющееся нам мгновенным, растягивается навечно. От таких рассуждений я почти обезумел. Как могла бы возникать любая мысль, коль скоро она должна существовать еще до своего рождения?.. Проникновение в невозможность мышления содержит и самое себя в качестве невозможности, так что вповь возникает неразрешимое противоречие»²⁴.

Описанные здесь коллизии Бор использовал отнюдь не как отдаленные и неясные аналогии, а скорее как один из случаев, «в различных контекстах встречающихся во многих областях знания». Более того, эта история кажется существенной и еще по двум причинам. Бор писал, что условия анализа и синтеза психологического опыта «всегда были одной из важных проблем философии. Легко видеть, что такие слова, как мысли или чувства, соотносящиеся со взаимно исключаящими сферами опыта, использовались типично дополнительным образом, причем столько времени, сколько существует сам человеческий язык»²⁵. Кроме того, не следует впадать в заблуждение из-за того, что история, рассказанная датским писателем, относится к области человеческих переживаний и что коллизия здесь выражена в обычных словах, а не в научных символах; ведь информация, которой обмениваются ученые, не является по сравнению с нею чем-то качественно отличным. Напротив, защищая принцип дополнительности, Бор говорил: «Цель наших рассуждений — подчеркнуть, что все виды опыта, полезного для человечества, будь то в науке, искусстве или философии, должны быть пригод-

ны для передачи посредством человеческих средств выражения, и именно на этой основе мы приблизимся к проблеме единства знания»²⁶. Это важнейший тезис, и к нему мы еще вернемся.

Сейчас же стоит признать, что «человек с улицы» будет удивлен, а профессиональный ученый, вероятно, несколько шокирован, обнаружив, что отец принципа дополнительности так часто отклоняется — по научным стандартам — далеко в сторону, иллюстрируя всю широту и мощь точки зрения дополнительности, как она им понималась. В поисках корней принципа дополнительности уже были выделены три направления (история представлений о свете, операциональное определение распространения света и ранние физические исследования самого Бора), которые мы могли бы принять без особого сопротивления. Однако прокладывая новый путь для таких поисков, приходится уже полностью покинуть физику.

Думаю, что многие ученики и сотрудники Бора, с максимальной деликатностью выслушивая его рассуждения и признавая, что они, возможно, имеют педагогическую ценность, вряд ли считали их ключом к «единству знания». Ведь типичный ученый должен относиться к проблемам мёллеровского героя, приходящего в смятение от размышлений о собственных мыслях из-за дополнительности и потому взаимоисключаемости «мышления» и «мысления о мышлении», как к чему-то слишком далекому от затруднений, с которыми сталкивается экспериментатор, когда он не может одновременно зафиксировать волновые и корпускулярные характеристики светового пучка. Да и интроспекции рефлектирующего студента должны были казаться слишком слабо связанными с влиянием макроскопического прибора на явления в субмикроскопической квантовой области.

Поэтому едва ли не откровением прозвучало сделанное недавно открытие того, что среди осознававшихся самим Бором корней концепции дополнительности имелся также и тот широкий, общечеловеческий контекст, который просматривается в приведенных выше цитатах. Причем обнаружить это удалось довольно драматическим путем. Несколько лет назад, по инициативе Американского физического и Американского философского обществ, возник совместный проект поисков и анализа исторических источников, на которые можно было бы опираться при созда-

нии истории квантовой механики *. Осуществление проекта, которым руководил Томас Кун, растянулось на годы. Одной из основных задач был сбор свидетельств главных участников квантовомеханических исследований относительно происхождения полученных ими результатов. В связи с этим Бор согласился дать несколько интервью, одно из которых — пятое, состоявшееся 17 ноября 1962 г., — нас особенно интересует в данном случае. Собеседниками Бора были Кун и Ааге Петерсен. Во время этой встречи Петерсен, долгое время работавший с Бором, спросил о том, насколько философия повлияла на становление его идей. Вот запись их беседы:

А. П.: Как Вы относились к истории философии? Что Вы думали о значении достижений таких мыслителей, как Спиноза, Юм и Кант?

Н. Б.: Точно ответить трудно, но я чувствовал, что поднятые ими проблемы вряд ли относились к моим исследованиям.

А. П.: И Беркли тоже?

Н. Б.: Нет, о его взглядах я знал. И кое-что о них читал у Хёффдинга, но все это меня не удовлетворяло.

Т. К.: Читали ли Вы какие-нибудь работы этих философов?

Н. Б.: Некоторые читал; но вот что действительно заинтересовало меня [здесь Бор вдруг замолчал и потом издал восклицание] — да, так вот что мне приходит на ум! Я очень дружил с Рубином [студент, товарищ Бора, ставший психологом] и поэтому читал в оригинале работы Уильяма Джемса. Джемс поистине великолепно показывает — кажется, я читал книгу или раздел книги под названием... как же это было? — да, «Поток мыслей»; так вот, здесь он исключительно ясно демонстрирует, что невозможно анализировать вещи в терминах — как бы это назвать? не атомы... я просто хочу сказать, что, если перед вами какие-то вещи... они так взаимосвязаны, что, если пытаться разделить их, возникает совершенно искусственная ситуация, не имеющая ничего общего с реальностью. Думаю, нам еще стоит поговорить о таких проблемах;

* Предварительные результаты этой работы см. в: K u h n T. S. et al. Sources for History of Quantum Physics: an Inventory and Report.—Memoirs of the American Philosophical Society, v. 68, Philadelphia, 1967. См. также: Д а н и и Д. С. Архив забываемого времени.—В: «Вопросы истории естествознания и техники» № 2, 1980. — *Прим. перев.*

я кое-что знаю о Джемсе. Вот о нем-то я сейчас прежде всего и вспомнил. А произошло все тогда потому, что я говорил с разными людьми о других вещах, а Рубин посоветовал мне почитать что-нибудь из работ Джемса, и я нашел его великолепным.

Т. К.: Когда именно Вы стали читать Джемса?

Н. Б.: Это, вероятно, было несколько позже, я точно не уверен. У меня тогда было много работы; быть может, это произошло, когда я занялся поверхностным натяжением [1905], или несколько позднее. Я не помню.

Т. К.: Но это случилось до Манчестера [1912]?

Н. Б.: О да, несколькими годами раньше»²⁷.

Бор был явно заинтересован в продолжении беседы на эти темы — «нам еще стоит поговорить о таких проблемах». Но, увы, на следующий день он внезапно умер.

Имеется немало данных, позволяющих строить в этой связи те или иные правдоподобные гипотезы. В интересной книге К. Т. Мейер-Абиха (Meyer-Abich K. T. *Korrespondenz, Individualität und Komplementarität*. Wiesbaden, 1965) сообщается, что, по воспоминаниям многих немецких ученых, Бор довольно часто цитировал Уильяма Джемса и, кроме него, только нескольких других западных философов. Да и сам Бор в статье 1929 г.²⁸ делает обширные экскурсы в психологию, чтобы найти там полезные для себя аналогии, относящиеся, по мнению Мейер-Абиха, к главе «Поток мысли» книги Джемса «Принципы психологии». Правда, относительно точности датировки есть сомнения. Леон Розенфельд²⁹, например, настаивает на том, что эта книга была неизвестна Бору до 1932 г. Вспоминая, что как раз тогда Бор показывал ему книгу Джемса, Розенфельд считает, что за несколько дней перед этим Бор беседовал с Рубином, и тот мог после этого послать ему экземпляр. Книга очень заинтересовала Бора, особенно рассуждения о «потоке сознания», на которые он указывал Розенфельду. В те дни Бор с энтузиазмом демонстрировал книгу еще нескольким посетителям, и у Розенфельда создалась уверенность, что это было его первым знакомством с творчеством Джемса. Причем, по мнению Розенфельда, важнее всех догадок о раннем влиянии Джемса является одно замечание самого Бора: после обсуждения своих «первых философских размышлений и пионерских работ 1912—1913 гг. он сказал мне очень серьезным голосом: «И вы не должны забывать, что эти

идеи я разрабатывал в полном одиночестве, без всякой помощи извне»³⁰.

Имея в виду несомненные аналогии или сходство между идеями Бора и Джемса, которые будут описаны несколько ниже, можно либо считать вместе с Джеммером и Мейер-Абихом, что раннее чтение Джемса прямо повлияло на формирование взглядов Бора, либо принять мнение Розенфельда, что Бор пришел к своим идеям самостоятельно (чему, возможно, способствовали другие факторы — хотя бы уже рассмотренные выше или его размышления над многолиственными функциями и римановыми поверхностями)³¹. Вторая альтернатива в некоторых отношениях интереснее, хотя и труднее; она стимулирует поиски решения старой проблемы: почему и какими путями одна и та же тема вдруг почти одновременно начинает доминировать в различных областях? Однако, на чью бы сторону ни стать, в свете последнего интервью Бора его чтение главы «Поток мыслей» из книги Джемса выглядит довольно удивительно для любого физика, знакомого с вкладом Бора в атомную физику³².

Джемс настаивает прежде всего на том, что мысль может существовать лишь в единстве с ее «обладателем». Мысль и мыслящая личность, субъект и объект прочно взаимосвязаны; изолированная объективация мысли невозможна. Это значит, что нельзя пренебрегать обстоятельствами, при которых мышление становится предметом рефлексии. «Наши психические реакции на любое внешнее воздействие зависят от всего опыта, усвоенного нами к этому моменту. От года к году мы видим вещи в новом свете... Девушки, в прошлом воспринимавшиеся в ореоле бесконечности, сегодня почти не затрагивают наших эмоций; картины, в прошлом вызывавшие восхищение, сегодня кажутся пустыми; а если вспомнить о книгах — что же такое мы находили в Гёте, что делало его столь таинственно глубоким?» Можно представить себе, насколько сочувственно Бор отнесся бы к этим словам: ведь он и сам писал, что «почти во всех областях знания для объективного описания и гармоничного понимания надо учитывать обстоятельства, при которых были получены данные опыта».

Утверждению о том, что сознание не поддается вычлениению и атомизации, можно придать и другой смысл. Джемс писал: «Сознание не видит себя разложенным на

части; оно течет. Будем называть это потоком мысли, сознания или субъективной жизни». Однако непрерывность подчас нарушается — это «изменения сути сознания от одного мгновения к другому». Если перевести это на язык квантовой теории, можно сказать, что Джемс описывает здесь серию переходов между стационарными состояниями, в каждом из которых система задерживается лишь ненадолго; это не что иное, как метафора, напоминающая предложенное Бором в 1912—1913 гг. описание поведения электрона в атоме водорода. Здесь уместно вновь процитировать Джемса. «Мысль, подобно птице, существует во взлетах и остановках. Это проявляется и в ритме речи, где каждая мысль выражается фразой, а отдельные фразы разделяются паузами... Области покоя будем называть «субстантивными частями», а области полета — «транзитивными частями» потока мысли».

Но здесь возникает затруднение — как раз то, которое мучило героя Мёллера. Оно состоит, цитируя Джемса, в том, чтобы «интроспективно видеть транзитивные части такими, какими они являются. Если они — только скачки к умозаключению, мы сможем задержать их лишь ценой их разрушения». Если же мы решим подождать выхода в новое стационарное состояние, момент для наблюдения будет безвозвратно упущен. «Попытайтесь разрезать мысль посередине, — говорит Джемс, — и взглянуть на ее отдельные части — сразу будет ясно, насколько затруднительно интроспективное наблюдение транзитивного пути. Или же, если наша цель достаточно подвижна для того, чтобы мы могли задержать ее исполнение, она тут же перестает быть сама собой... В таких случаях попытки интроспективного анализа напоминают... попытки мгновенно осветить темное место, с тем чтобы успеть заметить, как выглядит сама темнота». Позволить мыслям свободно течь или сделать их предметом интроспективного анализа — это две взаимоисключающие экспериментальные ситуации.

Именно эти рассуждения можно принять в качестве отправной точки, пытаясь интерпретировать ряд новых особенностей доклада Бора 1927 г. либо как следы более раннего воздействия на него работ Джемса, либо как результат независимых, но близких размышлений самого Бора. На этом пути можно лучше понять и то, что Бор сказал в конце своего выступления: «Однако я надеюсь, что идея дополнительности способна охарактеризовать

существующую ситуацию, которая имеет далеко идущую аналогию с общими трудностями образования человеческих понятий, возникающими из разделения субъекта и объекта»³³.

Здесь стоит задуматься над происхождением самого термина «дополнительность», введенного Бором в физику в 1927 г. Он мог бы быть позаимствован из многих областей, включая геометрию или топологию. Но как Мейер-Абих, так и Джеммер указывают на более интригующую возможность — ту главу из «Принципов психологии» Джемса, которая называется «Ум и все прочее» и как раз предшествует главе «Поток мысли». В одном из разделов этой главы, озаглавленном «Истерическая „бессознательность“», Джемс рассматривает истерическую анестезию, т. е. потерю естественного восприятия зрительных, слуховых и т. п. сигналов. При этом он отмечает, что П. Жане и А. Бине «показали *сохранение в течение припадков чувствительности к ощущениям, источниками которых являются затронутые ими органы; однако она проявляется лишь в форме вторичного сознания, полностью отделенного от первичного, или нормального, сознания, но также поддающегося обнаружению, хотя и в довольно причудливых воплощениях*»³⁴.

Основным способом такого обнаружения был метод «отвлечения», разработанный Жане. Для этого он включался «в беседу пациентов с третьим лицом, шепотом приказывая им выполнять какие-то элементарные действия, например поднимать руку или даже в письменной форме отвечать на его вопросы. Больные подчинялись этим приказам, хотя *ведавшая проходившей одновременно беседой часть их сознания была к ним полностью невосприимчива*»³⁵. Больные совершенно нормально отвечали на задававшиеся таким образом вопросы, когда, например, изучалась чувствительность к прикосновениям тех кожных участков, которые оказывались полностью нечувствительными к воздействиям, осуществлявшимся при включенном первичном сознании.

Кроме того, некоторые больные могли воспринимать ощущения определенных типов лишь через первичное или вторичное сознание, но ни в коем случае не одновременно. Джемс описывает один известный эксперимент с поистине поразительными результатами: «Господин Жане прекрасно доказал все это, изучая свою пациентку Люси.

Типичным здесь является следующий эксперимент. Когда Люси впадала в транс, Жане клал ей на колени пронумерованные карточки, говоря, что после пробуждения она *не должна видеть* карточки с номерами, кратными трем. Люси хорошо поддавалась этому теперь общеизвестному так называемому «постгипнотическому внушению». Очнувшись, она действительно не видела карточек с указанными номерами — она просто была слепа к ним. Когда, однако, подсознание изучалось обычным методом отвлечения сознания какой-нибудь беседой, происходило следующее: *рука* пациентки писала, что на ее коленях лежали лишь карты с номерами 12, 9, 18 и другими, кратными трем; когда Люси просили собрать все карты, она собирала лишь эти, оставляя другие нетронутыми. Аналогично, когда «подсознательной» Люси предлагалось взглянуть на какие-то предметы, «нормальная» Люси делалась частично или полностью слепой. «Что случилось? Я ничего не вижу!» — внезапно закричало ее нормальное «Я» в середине беседы, когда господин Жане что-то показал подсознательному „Я“»³⁶.

Эти и другие подобные примеры Джемс приводит в поддержку своего вывода о дополнительной психологических экспериментов.

«Приходится поэтому допустить, что *хотя бы некоторые субъекты обладают сознанием, могущим разделяться на части, которые в своем сосуществовании взаимно игнорируют друг друга* и делят между собой объекты познания. Еще важнее то, что эти части раздвоенного сознания *дополнительны*. Если одна из них занята каким-то объектом, для другой он просто перестает существовать. Никакой сигнал вроде речевой команды и т. п. не может достичь двух половин раздвоенного сознания одновременно: то, что делается известным верхнему «Я», не замечается нижним, и наоборот»³⁷.

Сходство этого заключения с боровской концепцией физической дополнительной поразительно, даже если мы и не будем интересоваться проблемой генетических связей между различными употреблениями одного и того же термина.

ХРИСТИАН БОР И ХАРАЛЬД ХЕФФДИНГ

Восприимчивость Нильса Бора к идеям, подобным взглядам Уильяма Джемса, покоится на фундаменте лич-

ностных и философских воздействий, заложенном еще в его детстве. Оскар Клейн, один из первых сотрудников Бора, набрасывает в своей статье «Впечатления о Нильсе Боре как ученом и мыслителе» яркий портрет его в молодости:

«Сам Нильс Бор, подобно своему брату Харальду, чрезвычайно одаренному математику, любил вспоминать, с какой легкостью и одновременно решительностью принимал он все увиденное и услышанное в детстве. Они говорили также и об очень рано развитой им геометрической интуиции... Первое качество проявлялось, например, в том, что Нильс искренне верил всему, что говорилось в школе на уроках закона божьего. Недостаточная религиозность родителей долго была для впечатлительного мальчика источником огорчений. Когда уже в юношеском возрасте он стал сомневаться в религии, он проявил ту же редкую решительность, создав для себя прочную философскую опору, как делали некогда раннегреческие натурфилософы»³⁸.

Отец Нильса Христиан Бор был профессором физиологии Копенгагенского университета. Работа сделала его участником одного из главных философских споров конца прошлого века — о различиях и относительных достоинствах виталистических и механистических объяснений жизненных явлений. Интересы отца повлияли на идеи и склонности сына несколькими способами. Известно, что в юности Нильс Бор допускался к работе в отцовской лаборатории, где он участвовал и в беседах с другими коллегами отца, также увлекавшимися философией. Среди них прежде всего нужно назвать Харальда Хёфдингга — профессора философии, часто бывавшего в доме Боров. Существовало что-то вроде неофициального клуба, состоявшего из Христиана Бора, Хёфдингга, физика Христиана Христиансена и филолога Ханса Томсена. В дальнейшем Нильс Бор с удовольствием вспоминал о тех глубоких впечатлениях, которые ему довелось вынести из своего присутствия на встречах клуба. Хёфдингг описывал Христиана Бора как ученого, понимавшего необходимость «скрупулезного использования в физиологии физических и химических методов», а за пределами лаборатории — «бывшего тонким ценителем Гёте». «В беседах, будь то разговоры на практические темы или обсуждение вопросов мировоззрения, он любил прибегать к парадоксам»³⁹.

Влияние отца на Нильса Бора лучше всего описано Оскаром Клейном, вспоминая: «Он рассказывал об убеждении отца в том, что для описания поведения живых существ телеология может быть столь же полезной, как и причинность. Эта идея потом сыграла важную роль в попытках Бора выяснить взаимосвязи между физическим и биологическим описанием реальности»⁴⁰.

Нильс Бор поступил в университет в 1903 г., начал вскоре слушать лекции Хёфдингга по логике и истории философии. Вместе с Рубином он принадлежал к студенческому клубу, где обсуждались поднимаемые Хёфдинггом философские проблемы. Хотя Бор, как это видно из его последнего интервью, не слишком интересовался философскими системами (подобными созданным Спинозой, Юмом и Кантом), можно не сомневаться, что сам Хёфдингг очень повлиял на Бора — возможно, прежде всего своим стремлением использовать для целей философии работы тех ученых, кого он называл «философствующими естествоиспытателями», — от Коперника до Ньютона и от Максвелла до Маха. Взгляды Максвелла и Маха детально обсуждаются в книге Хёфдингга «Современные философы», вышедшей в 1904 г. на датском, а через год — на немецком языках и ставшей предшественницей его фундаментальной «Истории современной философии».

Несмотря на возрастные различия, Нильс Бор и Хёфдингг были связаны и личной симпатией. Еще будучи студентом, Нильс указал как-то Хёфдинггу на погрешность в его объяснениях, а тот в свою очередь позволил ему помочь в проверке гранок спорного места. Постепенно между ними возникла настоящая дружба, которую они оба затем не раз отмечали: можно сослаться хотя бы на признание Бором влияния на него Хёфдингга, сделанное по случаю восьмидесятилетнего юбилея последнего⁴¹, или на письма Хёфдингга Эмилию Мейерсону от 1926 и 1928 гг.⁴² Первое из них датировано 13 декабря, что по любопытному совпадению предшествует поездке Бора в начале следующего года на отдых в Норвегию, где, по свидетельствам Гейзенберга и других, его идеи оформились в виде той концепции дополнительности, которую он позднее обнародовал. Второе письмо написано через полгода после конгресса в Комо — 13 марта 1928 г. Здесь есть такое место: «Бор утверждал, что в моих книгах он нашел очень полезные идеи, способствующие «пониманию» учеными

своей работы. Для меня, столь часто ощущавшего свою неподготовленность в области точных наук, было очень приятно узнать об этом»⁴³.

Любой внимательный ученик Хёффдинга не мог не заметить и его интереса к ряду аспектов работ Уильяма Джемса. Хёффдинг, восхищавшийся Джемсом и основателем психофизики Фехиером, посвятил психологии первую из своих книг, вышедшую на датском языке в 1882 г. Примерно в то время, когда Бор слушал его лекции, Хёффдинг использовал свою поездку на конгресс в Сент-Луис для визита к Джемсу. Что касается самого Джемса, то и он выразил свою высокую оценку идей Хёффдинга в предисловии к английскому изданию его «Проблем философии» (1905); позднее Хёффдинг писал, что источником этой книги послужили как раз его (Хёффдинга) университетские лекции 1902 г.⁴⁴ В тот же год своей встречи с Джемсом Хёффдинг посвятил его творчеству всю заключительную главу «Современных философов», выразив свое восхищение в таких словах: «Джемс является одним из самых выдающихся мыслителей современности... Важнейшая из его работ — это книга «Принципы психологии».

КЪРКЕГОР

Хёффдинг сам признавал, что работы Кьеркегора оказали на него раннее и очень сильное воздействие⁴⁵. Испытав в молодости духовный кризис, приведший его почти к «отчаянию», он обрел в трудах Кьеркегора и облегчение, и новую энергию, причем наиболее энергично он подчеркивал значение той работы, которая сегодня известна под названием «Этапы жизненного пути». «Хёффдинг, посвятивший творчеству датского мыслителя свою вторую книгу «Кьеркегор как философ»⁴⁶, стал одним из его самых авторитетных комментаторов и последователей.

Не ясно, заинтересовался ли Нильс Бор впервые творчеством Кьеркегора самостоятельно или под влиянием Хёффдинга, но сам факт такого раннего интереса надежно подтверждается документами. Есть воспоминания о том, что в 1909 г. Нильс послал в подарок на день рождения своему брату Харальду только что названную работу Кьеркегора «Этапы жизненного пути», написав при этом: «У меня нет другого подарка, но я вряд ли смог бы

найти что-либо лучше этой книги. Сам я, во всяком случае, получил от нее огромное удовольствие; я склонен даже считать, что это одна из прекраснейших вещей, которые мне когда-нибудь приходилось читать»⁴⁷. Потом он добавил, что не может целиком согласиться со всеми взглядами Кьеркегора; хотя негативизм Кьеркегора по отношению к науке и в самом деле не мог импонировать Бору, это не мешало ему восхищаться его эстетикой и духом его морали.

Эти замечания Бора подводят нас к последнему из возможных источников его концепции дополнительности. Хотя здесь и не место для детального разбора тех сторон философии Кьеркегора, для которых можно найти параллели во взглядах Бора⁴⁸, стоит, однако, вспомнить об одной или двух главных чертах, характерных как для самого Кьеркегора, так и для виднейшего из его датских интерпретаторов — Хёффдинга.

Экзистенциализм Кьеркегора вышел из немецкого романтизма, обратившегося к личности и ее сиюминутной жизненной ситуации и противопоставившего их поискам объективности и рациональности, свойственным Просвещению. Кьеркегор настаивал, что, поскольку даже самые абстрактные идеи создаются людьми, отрицание субъективного внутренне противоречиво. Восставая против Гегеля и отчасти — Канта, он писал о науке: «Пусть она занимается растениями, животными и звездами, по истине богохульством было бы обращаться так же и с человеком, подрывая тем самым этические и религиозные устои». Истину нельзя найти, отвлекаясь от субъективного, особенно если размышлять над теми иррациональными по своей сути скачками сознания, которые лежат в основе интуиции. Как пишет Джон Пассмор, «каждый значительный шаг на пути к истине есть свободное решение. Согласно Кьеркегору, наше движение от эстетической позиции к научной, от нее — к этической, а от этической — к религиозной не поддается рационализации посредством выстраивания формальных упорядоченных связей между предпосылками и заключениями: каждый раз мы имеем дело с прыжком к совершенно новым способам мироприятия»⁴⁹.

Для нас, вероятно, наиболее интересным является акцент Кьеркегора на значение нарушений непрерывности; здесь лучше всего более подробно привести ряд мест из

посвященного Кьеркегору раздела главного труда Хёффдинга — его «Истории современной философии».

«Центральная идея Кьеркегора состояла в том, что из-за альтернативности различных жизненных позиций мы всегда обречены на выбор между ними. Отсюда его максима «или — или». Такой выбор каждый человек должен сделать сам, отсюда второе важнейшее понятие Кьеркегора — «индивидуум». Он говорил о своем мышлении как о «качественной диалектике», стремясь выявить различия своей концепции с предлагавшимися романтиками рассуждениями о непрерывном развитии, осуществляющемся посредством необходимых внутренних переходов. Кьеркегор оценивал эти идеи как чистый вымысел, хотя они его, несомненно, в чем-то и привлекали»⁵⁰.

Для нас сейчас важнее всего отметить, что главная черта «качественной диалектики» Кьеркегора состояла в таком одновременном принятии тезиса и антитезиса, за которым бы не следовал переход к стадии синтеза, разрешающего противоречия между ними. Так, он всегда сохранял границу между мышлением и реальностью. Хёффдинг пишет: «Даже если бы мышление сделалось непротиворечивым, это не значит, что подобная согласованность могла бы сохраняться в жизненной практике... В реальности рука об руку сосуществуют настолько сильные различия и противоположности, что никакое мышление не смогло бы охватить их целиком в «высшем единстве»⁵¹. «Кьеркегор все ближе подходил к тому, чтобы критерием величия и ценности мировосприятия считать его способность постигать сильнейшие контрасты и переносить муки, на которые обрекает такое постижение»⁵².

То, что Кьеркегор подчеркивал разрывы между несовместимостями, говорил о «скачках» вместо непрерывных переходов, делал акцент на включенность субъекта и на внутреннюю дихотомичность, было столь же «неклассичным» для философии, как для физики — квантовые скачки, вероятностная причинность, дуальность и зависимость описания от наблюдателя, ставшие неотъемлемыми компонентами копенгагенской интерпретации квантовой механики.

Было бы нелепым доказывать, что Бор непосредственно заимствовал идеи Кьеркегора, лишь переведя их из философско-теологического контекста в физический: ничего подобного, разумеется, не происходило. От нас требует-

ся одно — без предубеждений представить себе, как мог бы воспринять Кьеркегора и Хёффдинга человек, являющийся прежде всего и по существу физиком и мучительно размышляющий над тем, над чем размышлял и сам Бор: сначала (1912—1913) над атомными моделями, а затем — как в 1927 г. — над «нахождением определенной согласованности новых идей» в условиях парадоксального и неразрешимого конфликта между классической и квантовой физикой, приводившего в отчаяние большинство физиков того времени. Этот человек мог бы лучше всего оценить хотя бы проделанный Хёффдингом анализ кьеркегоровской идеи «скачка».

«В кьеркегоровской этике качественная диалектика проявляется как в концепции выбора, волевого решения, так и в учении об этапах. Кьеркегор решительно возражает против аналогий между духовным и органическим развитием. В сфере духовного нет никаких непрерывных изменений, которые могли бы объяснить переходы от размышлений к решениям или от одного образа мировосприятия («этапа») к другому. При каждом таком переходе непрерывность должна разрушаться. Что же касается выбора, то психология способна лишь указывать на возможности и аппроксимации, мотивы и способы подготовки. Но сам выбор происходит внезапно, в скачке, когда рождается нечто совершенно иное (новое качество). Непрерывность существует лишь в мире возможностей; в реальности же решение всегда приходит через разрыв непрерывности. Однако здесь возникает вопрос: не поддается ли сам этот скачок психологическому наблюдению? Ответ Кьеркегора неясен. Он объясняет, что скачок происходит между двумя моментами, двумя состояниями, одно из которых — это последнее состояние в мире возможностей, а другое — первое в мире реальности. Отсюда почти что вытекает невозможность наблюдения скачка. Но можно также сделать и вывод, что скачок происходит бессознательно, и тогда нельзя исключить возможности бессознательной непрерывности, являющейся подосновой своего антитезиса в мире сознаваемого»⁵³.

Как раз в этом плане труды Кьеркегора и Хёффдинга наиболее явно пересекаются с работами Джемса. В жизни Бора было два периода, когда то общее, что содержится во взглядах этих мыслителей, могло с наибольшей вероятностью подействовать на его размышления, подготавливая

формирование его собственных воззрений или обосновывая их. Во-первых, это ранний период творчества Бора, с 1912 г. до появления принципа соответствия (и здесь вполне правдоподобно звучит предположение об аналогии между боровскими неклассическими переходами электрона от одного стационарного состояния к другому и кьеркегоровскими «скачками» или «транзитивными частями» Джемса). Во-вторых — период, начавшийся в 1926 г., когда уже стала складываться боровская концепция дополнительности. Мы уже указывали на предшественников этих идей и на их возможные источники, говоря о заключительных строках доклада Бора в Кюмо или о его статье 1929 г. («Строго говоря, глубокий анализ любого понятия и его непосредственное применение взаимно исключают друг друга»; «Уже простые психологические опыты дают основание не только для релятивистского, но и для взаимного способа описания»; «Кажущееся противоречие между непрерывным прогрессом обобщенного мышления и сохранением индивидуальности личности находит впечатляющую аналогию в отношении между обусловленным принципом суперпозиции волновым описанием поведения материальных частиц и их сохраняющейся индивидуальностью»⁵⁴.)

Обсуждая эти вопросы, нельзя забывать об одной существенной черте самого Бора, иначе мы рискуем упустить важную сторону его предрасположенности к созданию концепции дополнительности. Речь идет о хорошо известной диалектичности стиля его мышления и работы. Леон Розенфельд подчеркивал, что «направление его ума было скорее глубоко диалектическим, чем рефлексивным... Чтобы начать думать, ему в качестве стимула был нужен какой-то диалог»⁵⁵. Розенфельд отмечает также известный афоризм Бора: «Каждое высказанное мною суждение надо понимать не как утверждение, а как вопрос». Над текстами статей Бор любил работать не за письменным столом, а прохаживаясь по комнате, диктуя их тому из коллег, кого он уговорил помочь себе в качестве стенографа, слушателя и критика. При этом он постоянно спорил как с самим собой, так и с партнером, который к концу беседы обычно доходил до изнеможения. Эйнштейн, Гейзенберг, Шредингер и другие физики не могли не замечать, что Бор, казалось, всегда искал противоречий, устремляясь на них с небывалой энергией и в максималь-

ной степени их обостряя, чтобы в итоге дискуссии в осадок могла выпасть чистая субстанция. Кстати сказать, между присущим Бору способом аргументации и самим принципом дополнительности было нечто общее — это способность извлекать пользу из конфронтации альтернативных позиций. Мы упоминали выше начало шиллеровской строфы, ставшей любимым изречением Бора, — «Только полнота порождает ясность», но за ним следует: «А истина скрывается в бездне»:

Nur die Fülle führt zur Klarheit,
Uud im Abgrund wohnt die Wahrheit.

О Нильсе Боре существует множество рассказов, но ни один из них не показывает диалектичности его подхода к пониманию истины лучше, чем рассказ его сына Ханса. Он сообщил, что одним из любимых принципов его отца было различие двух видов истины: тривиальной, отрицание которой является очевидной нелепостью, и глубокой, для которой обратное утверждение также оказывается глубокой истиной⁵⁶. В том же русле лежит и другая часто вспоминаемая история о Боре, утверждающая его интерес к одному примеру или аналогии, связывающей понятие дополнительности со взаимоисключающими требованиями любви и справедливости. Джером С. Брунер* однажды любезно поделился со мной воспоминаниями о его беседе с Бором, происшедшей где-то в 1943 или в начале 1944 г. «Разговор неизменно возвращался к дополнительности мысли и действия, а также восприятия и рефлексии. Бор говорил, что он осознал психологическую глубину дополнительности, когда один из его детей как-то сильно провинился, а он при этом не смог выбрать надлежащего наказания. «Нельзя одновременно смотреть на кого-то глазами любви и справедливости!» — примерно это выражение Бор, кажется, и употребил. Он говорил... также о том, как именно акт интроспекции искажает те эмоции, которые мы пытаемся описать с его помощью»⁵⁷.

ДОПОЛНИТЕЛЬНОСТЬ ВНЕ ФИЗИКИ

Теперь можно спросить: в чем же состояли действительные надежды Бора по отношению к принципу допол-

* Известный американский психолог, много занимавшийся проблемами психологии восприятия и когнитивной психологии. — *Прим. перев.*

нительности? Разумеется, они далеко выходили за рамки объяснения чисто физических парадоксов 20-х годов. Мало того, что этот принцип имел внефизические корни, — ожидаемая область его применимости также не ограничивалась одной лишь физикой. Позвольте мне напомнить уже приводившееся выше его высказывание: «Так, цельность живых организмов и характеристики людей, обладающих сознанием, а также и человеческих культур представляют черты целостности, отображение которых требует типично дополнительного способа описания... Мы имеем здесь дело не с более или менее туманными аналогиями, а с отчетливыми примерами логических связей, которые в разных контекстах встречаются в более широких областях знания»⁵⁸. В принципе дополнительности проявляется определенная тема (в разработанном мною смысле этого термина⁵⁹) — одна из представительниц того относительно небольшого тематического запаса, к которому обращается творческое воображение ученого. Изучая любую тему, фигурирующую в физике или другой науке, будь то дополнительность, атомизм или непрерывность, нельзя забывать, что каждое ее частное выражение есть один из аспектов общей идеи, различным образом представленной в работе физика или биолога и принимающей здесь некоторую специфическую форму. Так, какая-то общая тема θ , когда она используется, например, физикой, приобретает здесь некоторую конкретную интерпретацию θ_φ ; та же тема в сфере психологии получает интерпретацию θ_ψ ; в фольклоре она проявляется в виде интерпретации θ_μ и т. д. Общая тема дискретности для физики обращается темой атомизма θ_φ , а в психологии она воплощается как тема θ_ψ сохраняющейся индивидуальности. Определенную тему θ можно поэтому символически представить в виде суммы ее частных воплощений: $\theta = \sum_{n=a}^{n=w} \theta_n$.

При таком подходе мы понимаем, что выдвигание Бором принципа дополнительности было не чем иным, как попыткой превратить его в краеугольный камень новой эпистемологии. Когда «в общефилософском аспекте... мы встречаемся с ситуациями, напоминающими ситуацию в квантовой физике»⁶⁰, это отнюдь не означает, что они являются лишь бледными отражениями или «туманными аналогиями» принципа, имеющего ценность только для квантовой физики; физическая применимость оказывается

скорее отражением его всеобъемлющей значимости. Но какие бы факторы ни сыграли основную роль в подготовке боровских идей в чисто физической области, в итоге Бор пришел к утверждению *универсальной* роли дополнительнойности.

Более того, именно эта универсальность и объясняет, как Бору удалось сделать так, чтобы его размышления над внефизическими аспектами дополнительнойности принесли пользу и самой физике. Вспомним в связи с этим очень точное замечание Розенфельда: «Когда все эти годы творчества углубили его проникновение в значение дополнительнойности для физики, он смог указать и ситуации в биологии и психологии, также демонстрирующие эффекты дополнительнойности, а изучение этих аналогий уже в эпистемологическом плане в свою очередь помогло высветить неизвестные ранее физические проблемы»⁶¹. «Бор затратил много усилий, анализируя возможности приложения концепции дополнительнойности к другим областям знания; этой задаче он придавал не меньшую важность, чем своим физическим исследованиям, и эта работа приносила ему не меньшее удовлетворение»⁶².

В последние 30 лет своей жизни Бор не раз имел возможность обсуждать внефизические приложения концепции дополнительнойности. Розенфельд сообщает, что впервые серьезная возможность для этого появилась в 1932 г., когда Бора попросили выступить на открытии Международного биологического конгресса в Копенгагене по световой терапии⁶³. Начав с использования идеи дополнительнойности для понимания двойственности света, Бор перешел затем к ее применению в биологии.

«Для него эти вещи, — рассказывает об этом событии Розенфельд, — имели особое значение; находясь под глубоким воздействием отцовских взглядов на биологические проблемы, он был счастлив теперь открыто присоединиться к ним и дать им более адекватную формулировку. В начале века отец Бора выступал против механистического материализма, решительно защищая телеологический подход в физиологии. Он говорил, что нельзя рассчитывать на понимание структуры какого-нибудь органа или связанных с ним физиологических процессов, не поняв предварительно его функций. В то же время всем авторитетом своей жизни, посвященной анализу физических и химических аспектов физиологических про-

цессов, он настаивал на в равной степени необходимым для него требования доводить этот анализ до последних границ, допускаемых техническими средствами исследований...

Такие размышления привели... к установлению отношения дополнительности между физико-химической стороной жизненных процессов, которой управляет причинность, по привычке прославляемая нами как истинно научная, и собственно функциональными их аспектами, где господствует причинность иного рода — телеологическая, или финалистическая. В прошлом, когда оба эти способа объяснения всегда резко противопоставлялись, независимо от форм своего воплощения, все были убеждены в том, что лишь одному из них суждено победить и что обе конкурирующие концепции науки о жизни совместить невозможно. Теперь же Нильс Бор смог показать, что эта устоявшаяся вера порождалась лишь той логикой, которая для современных физиков стала уже слишком ограниченной, и что дополнительность, как раз в духе идей его отца, создает более широкие перспективы, позволяющие построить объяснения на основе обоих подходов, объединяя преимущества каждого из них и не впадая при этом в противоречие. Таким образом, затянувшийся на столетия бесплодный конфликт мог наконец исчезнуть, будучи заменен полным использованием всех ранее найденных ресурсов научного анализа»⁶⁴.

Не стоит впадать в соблазн приписывания Бору какого-то гамлетовского комплекса, вынуждающего его отстаивать отцовские идеи, но не надо и отказываться замечать такое замыкание начатой некогда цепочки. Ибо не подлежит сомнению, что одна из тропинок, ведущих к дополнительности, стала прокладываться именно еще во времена работы Нильса Бора в отцовской лаборатории и его участия во встречах отцовского клуба.

После копенгагенского конгресса 1932 г. Бор представил свои воззрения на суд более широкой аудитории. Помимо своих устных и печатных выступлений перед физиками, он участвовал в работе таких форумов, как II Международный конгресс за единство науки (Копенгаген, июнь 1936 г.), где он сделал доклад «Причинность и дополнительность», или Международный конгресс по физике и биологии (октябрь 1937 г.), посвященный памяти Луиджи Гальвани (речь Бора здесь называлась «Биология и

атомная физика») *, или Международный конгресс по антропологии и этнологии, проходивший в августе 1938 г. в Копенгагене, на котором Бор произнес речь, озаглавленную «Философия естествознания и культуры народов» **. У Бора есть немало и других выступлений на близкие темы ⁶⁵.

И каждый раз Бор находил новые возможности для иллюстрации своей основной идеи. Так, в своей речи перед антропологами, произнесенной уже на пороге второй мировой войны — в 1938 г., он подчеркнул дополнительные аспекты человеческих обществ. Он вернулся также и к проблеме, мучившей героя новеллы Мёллера. Как пишет Розенфельд: «Он мог теперь вернуться к дуализму различных аспектов физического опыта, используя все результаты своих размышлений над отношениями дополнителности; он указал, что такой дуализм соответствует различным способам проведения границы между психическим процессом, выбираемым как объект наблюдения, и самим наблюдателем. Говоря, что мы фиксируем свое внимание на определенной стороне этого процесса, мы тем самым проводим определенную границу и в зависимости от способа такого разграничения можем либо воспринимать эмоции как часть своих субъективных ощущений, либо анализировать их в качестве части наблюдаемого процесса. Понимание дополнителности этих ситуаций решает загадку различных «Я» мёллеровского студента, которые наблюдают друг друга, и такое понимание создает единственный выход из сомнений героя новеллы» ⁶⁶.

Выступая перед конгрессом Европейского культурного фонда (Копенгаген, октябрь 1960 г.), Бор в своей речи «Единство человеческого знания» вновь вернулся к той мысли, что на фоне громадного разнообразия культурных достижений человечества возникает нужда в поисках «тех черт всех цивилизаций, которые имеют корни в общей природе человека». Эти идеи Бор развивал в политическом и социологическом контекстах, особенно с тех пор, как он стал все больше стремиться к тому, чтобы «способствовать взаимопониманию народов, обладающих различными культурными наследиями» ⁶⁷. Будучи глубоко встревожен

* См.: Бор Н. Атомная физика и человеческое познание, с. 27—38.

** Там же, с. 39—50.

опасностью холодной войны, он посвятил в последние годы жизни много времени политическим и социальным проблемам, включая работу над планами мирного использования ядерной энергии и контроля вооружений. В посвященных этим вопросам статьях просматривается неудовлетворенность Бора своим пониманием проблем, порожденных национальными противоречиями, не поддававшихся интерпретации в терминах, которые казались ему столь адекватными для решения задач физики и психологии. Заканчивая свою лекцию перед Королевской датской академией наук в 1955 г., он сказал: «Тот факт, что человеческие культуры, развившиеся при разных условиях жизни, обнаруживают такие контрасты в отношении установившихся традиций и общественного строя, позволяет называть эти культуры в известном смысле дополнительными. Однако мы ни в коем случае не имеем здесь дело с определенными взаимно исключающими друг друга чертами, подобными тем, которые мы встречали при объективном описании общих проблем физики и психологии; здесь — это различия во взглядах, которые могут быть оценены и улучшены расширенным общением между народами»⁶⁸.

К этой теме Бор возвращался постоянно. Так, в упоминавшемся выше докладе «Единство человеческого знания» он заново рассмотрел требование воспроизводимости в классическом языке даже наиболее абстрактных принципов квантовой механики. «Цель наших рассуждений — подчеркнуть, что все виды опыта, полезного для человечества, будь то в науке, искусстве или философии, должны быть пригодны для передачи их человеческими средствами выражения, и именно на этой основе мы приблизимся к пониманию единства знания»⁶⁹.

Последняя фраза содержит слова, фигурирующие и в названии доклада. Они как бы напоминают нам, что многообразные и в основном успешные устремления Бора включают его деятельность в определенную традицию, другим типичным представителем которой был еще один «философствующий ученый», принадлежавший предыдущему поколению, человек, с трудами которого Бор, подобно многим своим собратьям, познакомился очень рано и чьи взгляды Хёфдинг с большой симпатией описывал как в своих «Современных философах», так и в «Проблемах философии». Это был Эрнст Мах.

Кажется, что Бор поставил перед собой такую же громадную и выходящую за рамки любой отдельной сферы деятельности задачу; причем это проявляется и в его мощном обновляющем влиянии на физику и эпистемологию, в глубоком интересе к другим наукам и даже в его либеральных политических взглядах и активном отношении к социальным проблемам. Точно так же и Мах, будучи одновременно физиком, физиологом, психологом и философом, стремился найти принципиальную позицию, позволяющую придать более точный смысл исследованиям во всех этих областях. Такую основу Мах рассчитывал обнаружить на пути возвращения к миру ощущений, которые даются человеку еще до того, как он начинает заниматься научными изысканиями. Действуя таким образом, Мах положил начало движению за *единство науки*. В свою очередь и Бор, начавший с глубокого пересмотра проблемы восприятия, в особенности взаимодействия субъекта и объекта, также надеялся, что он нашел в концепции дополнительности новую точку опоры для оценки и решения ряда фундаментальных проблем, общих для многих областей познания — будь то физика, физиология, психология или философия.

Успехи, достигнутые Бором на пути к новому пониманию реальности, начатому им в 1927 г., были не случайны: напротив, они пришли в ходе выполнения давно поставленной им перед собой задачи. Один из его биографов отмечает: «В свое время, будучи еще юным студентом, Бор, воодушевленный пламенными идеями Хёфдингга, мечтал о „великих взаимных связях“ между всеми областями знания. Он даже подумывал о том, чтобы написать книгу по теории познания, или эпистемологии. Однако физика неодолимо тянула его к себе»⁷⁰. Попытки Бора понять единство познания на базе концепции дополнительности, чему он посвятил без малого две дюжины статей, можно в ретроспективе считать осуществлением этого стремления к открытию «великих взаимных связей между всеми областями знания».

Можно лишь восхищаться величием планов Бора. Однако его взгляды, хотя они и приняты большинством физиков, все-таки не получили широкого распространения за пределами их науки. В еще меньшей степени они проникли в философию — в противоположность тому воздействию, которое оказывали взгляды Маха на целое по-

коление ученых, выросшее перед появлением теории относительности и квантовой механики. Даже те физики, которые на собственном научном опыте убеждались в эффективности идеи дополнительности, возражали против того, чтобы тенденция к одновременному принятию фундаментальных противоположностей и отказу от попыток сведения их к чему-то единому распространялась на другие области мышления и деятельности. Нельзя не признать, что мы все же склонны к редукционизму — возможно, отчасти и потому, что нашими первыми интеллектуальными героями были люди, развивавшие традиции Маха и Фрейда, а не Кьеркегора и Джемса.

Быть может, все это лишь вопрос времени: ведь любая новая тема усваивается не сразу, и для ее достаточно широкого распространения нужен большой срок, в течение которого из множества внешне привлекательных примеров ее использования выкристаллизовываются действительно обоснованные объяснения, и мы в конечном счете учимся ощущать ту необъятную широту применимости новых представлений, о которой так хорошо писал Роберт Опенгеймер:

«Понимание дополнительной природы сознания и его физического воплощения кажется мне непреходящим моментом в развитии человеческого познания и подлинным выражением тех имеющих длительную историю взглядов, которые называются психофизическим параллелизмом.

Сказанному есть много примеров — как в сфере сознания, так и в сфере его отношений с описанием физического мира. Здесь можно упомянуть об отношении между когнитивными и аффективными аспектами нашего существования, между знанием и анализом, эмоцией и ощущением. Дополнительны и отношения между эстетическим героическим, чувствами и этическими принципами... Таковы и давно привлекающие внимание отношения между самоанализом, определением своих мотивов и целей и дополняющей его свободой выбора, решения и действия...

Проявлять гнев или иронию, быть движимым чувством прекрасного, принимать на себя какие-то обязательства или решаться на что-то, понимать некую истину — все это дополнительные состояния человеческого духа. Все они составляют духовную жизнь личности. Ни одно из них не может заменить других, и, если какое-то выходит на первый план, другие скрываются в тени...

Богатство и разнообразие физики, еще большее богатство и многообразие всей совокупности естественных наук, лучше знакомое нам, по тем не менее загадочное и неизмеримо более всеохватывающее богатство духовной жизни человека — все это насыщено дополнительностью одновременно несовместимых и несводимых друг к другу способов и путей познания. Именно в этом — его высшая гармония, здесь — горе и величие человека, его слабость и могущество, смерть, забвение и бессмертие»⁷¹.

1. После многих доработок Бор в 1928 г. опубликовал свою лекцию под названием «Квантовый постулат и новейшее развитие атомной теории». С тех пор она неоднократно перепечатывалась в разных изданиях — см., например, сборник на английском языке, составленный из четырех его статей: Bohr N. Atomic Theory and the Description of Nature, Cambridge, University Press, 1934; русск. пер.: Бор Н. Квантовый постулат и новейшее развитие атомной теории.— В: Бор Н. Избранные научные труды, т. II, М., «Наука», 1971, с. 30—53.

2. Бор Н. Избранные научные труды, т. II, с. 32.

3. Einstein A. Das Comptonsche Experiment. Berliner Tageblatt, April 20, 1924, Supplement, S. 1.

4. См. упомянутое в прим. 1 издание лекции Бора «Квантовый постулат и новейшее развитие атомной теории», с. 32. Необходимость создания «теории дополнительности» он выражает в следующей несколько тяжеловесной фразе: «В соответствии с самой природой квантовой теории мы должны считать пространственно-временное представление и требование причинности, соединение которых характеризует классические теории как дополнительные, но исключают одна другую черты описания содержания опыта; эти черты символизируют идеализацию возможностей наблюдения и, соответственно, определения» (Бор Н. Избранные научные труды, т. II, с. 31). Макс Джеммер, чью монографию «Концептуальное развитие квантовой механики» (Jammer M. The Conceptual Development of Quantum Mechanics. New York, McGraw-Hill, 1966) мы будем неоднократно цитировать, комментирует эту формулировку следующим образом: «Это высказывание, где впервые появляется термин «дополнительность», соотносит пространственно-временное и причинное описания как два дополнительных способа описания; здесь уже содержится ядро того, что позднее стало известно под именем «копенгагенской интерпретации» квантовой механики» (р. 351—352).

Принцип неопределенности*, сформулированный Гейзенбергом в начале 1927 г., впервые продемонстрировал, хотя и в ограни-

* В нашей литературе термин «принцип неопределенности» (uncertainty principle) обычно переводится как «соотношение неопределенности». — *Прим. перев.*

ченном смысле, существование отношений дополнительности между физическими понятиями. Этот принцип утверждает, что любая попытка локализации частицы в пространстве или во времени неминуемо приводит к изменению ее импульса или энергии, причем в тем большей степени, чем меньше протяженность той пространственно-временной области, в которой экспериментатор стремится локализовать эту частицу. Координаты, фиксирующие положение частицы в пространстве, и соответственные компоненты ее импульса не являются взаимоисключающими величинами, ибо те и другие измеримы в одном и том же эксперименте и необходимы для определения состояния системы. Однако они дополнительны в том ограниченном смысле, что их одновременные значения можно экспериментально определить не со сколь угодно высокой, а лишь с ограниченной точностью; чем выше точность измерения одной величины, тем больше неопределенность в значении другой. Напротив, корпускулярно-волновые свойства материи не только дополнительны, но и взаимно исключают друг друга; микрообъекты не могут одновременно обнаруживать как волновые, так и корпускулярные свойства. Именно поэтому в учебниках часто говорится, что боровская концепция дополнительности, высказанная в Комо, выходит за рамки принципа неопределенности Гейзенберга.

5. Бор Н. Дискуссии с Эйнштейном по проблемам теории познания.— В: Бор Н. Избранные научные труды, т. II, с. 406—407.

6. J a m m e r M. The Conceptual Development of Quantum Mechanics, p. 354.

7. См. там же, с. 358.

8. Einstein A. Remarks Concerning the Essays Brought Together in this Co-operative Volume.—In: Schilp p. Op. cit., p. 674.

9. Бор Н. Избранные научные труды, т. II, с. 414.

10. Некоторые аспекты ранней истории оптических теорий описаны в интересной книге Васко Рончи — «Оптика: наука о зрении»: Ronchi V. Optics, The Science of Vision, New York: New York University Press, 1957; см. также: Müller J. Lehrbuch der Physik, Braunschweig: Friedrich Vieweg & Son, 1926. При работе над данной статьей я широко использовал обе эти монографии.

11. Эйнштейн А. Собрание научных трудов. М., «Наука», 1966, т. 3, с. 93.

11а. См., например: Bragg W. H. The Consequences of the Corpuscular Hypothesis of the γ and X Rays and the Range of β Rays.—In: "Philosophical Magazine and Journal of Science", 20, № 117, September, 1910, p. 385—416.

12. Tuve M. A. Physics and the Humanities — The Verification of Complementarity.—In: Haskins C. P. (ed.). The Search for Understanding, Washington, D. C., Carnegie Inst., 1967, p. 46.

13. J a m m e r M. Op. cit., p. 87.

14. Письмо хранится в библиотеке Американского философского общества в Филадельфии и цитируется с разрешения администрации. Я благодарю Дороти М. Ливингстон за то, что она привлекла мое внимание к этому письму.

15. Bohr N., Kramers H. A., and Slater J. C. The Quantum Theory of Radiation.—In: "Philosophical Magazine and Journal of Science", 47, № 281, May 1924, p. 785—802.

16. Schrödinger E. Quantisierung als Eigenwertproblem.— In: "Annalen der Physik", 79, July, 1926, p. 375.
17. Jammer M. Op. cit., p. 271—272.
18. Там же, с. 271.
19. См. там же, с. 272.
20. Holton G. Poincare and Relativity.— In: Holton G. Thematic Origins of Scientific Thought: Kepler to Einstein. Harvard University Press, Cambridge, 1973, p. 185—195.
21. Klein O. Glimpses of Niels Bohr as Scientist and Thinker.— In: Rosental St. (ed.). Niels Bohr: His Life and Work as Seen by His Friends and Colleagues", New York: John Wiley & Sons, 1967, p. 93.
22. Бор Н. Атомная физика и человеческое познание. М., ИЛ, 1961, с. 147.
23. Rosenfeld L. Niels Bohr in the Thirties: Consolidation and Extension of the Conception of Complementarity.— In: Rosental St. (ed.). Op. cit. (прим. 21), p. 121.
24. Bohr N. The Unity of Human Knowledge.— In: "Essays 1958—1962 on Atomic Physics and Human Knowledge", p. 13; Rosenfeld L. Niels Bohr Contribution to Epistemology.— In: "Physics Today", 16, № 10, October, 1963, p. 47—54. В этой статье Розенфельд, как обычно, подчеркивает важность новеллы Мёллера для Бора; более того, он склонен считать, что внутренняя борьба ее героя со своими «Я» была «единственным наглядным уроком диалектического мышления, когда-либо полученным Бором; лишь в этом состояла связь между его собственным, в высшей степени оригинальным восприятием мира и философской традицией» (с. 48).
25. Bohr N. The Unity of Human Knowledge..., p. 12.
26. Там же, с. 14.
27. Автор выражает свою искреннюю признательность наследникам Нильса Бора и Американскому философскому обществу за разрешение воспроизвести эту часть интервью.
28. Bohr N. The Quantum of Action and the Description of Nature.— In: "Atomic Theory and the Description of Nature", p. 92—101.
29. Письмо к автору от 28 февраля 1968 г.
30. Там же. Томас Кун беседовал 11 февраля 1963 г. с Вернером Гейзенбергом, и тот во время встречи, которая была частью программы поисков источников квантовой теории, признал, что Джемс был одним из любимых философов Бора, а глава о «потоке мысли», вероятно, оказала на него особенно глубокое воздействие. Вспоминая о своих разговорах с Бором на эти темы, Гейзенберг датировал их промежутком от 1926 до 1929 г., вероятнее всего ближе к 1927 г. На вопрос о точности датировки он ответил, что не может гарантировать того, что они не велись после 1932 г.
31. Rosenfeld L. Niels Bohr's Contribution to Epistemology, p. 49. См. также: Rosenfeld L. Niels Bohr. Amsterdam, North-Holland Publishing Co., 1945 & 1961, p. 12—13.
32. В этих рассуждениях мы следуем за Мейер-Абихом: Meuser-Abich K. M. Korrespondenz, Individualität, und Komplementarität: Eine Studie zur Geistesgeschichte der Quantentheorie in den Beiträgen Niels Bohrs. Wiesbaden: Franz Steiner Verlag, 1965, и. 133 и далее.
33. Бор Н. Избранные научные труды, т. II, с. 53.

34. James W. The Principles of Psychology. New York: Dover Publications, v. 1, 1950, p. 203.

35. Там же, с. 204.

36. Там же, с. 206—207.

37. Там же, с. 206.

38. Klein O. Glimpses of Niels Bohr. — In: Rosental (ed.), *Op. cit.*, p. 74. Интересно отметить поразительное сходство жизненного опыта Бора с воспоминаниями Эйнштейна, содержащимися в его «Автобиографических заметках»: то же самое раннее религиозное чувство, контрастирующее с воззрениями родителей, за которым позднее приходит потеря или отрицание «религиозного рая юности», как его называл Эйнштейн.

39. "Childhood and Youth". — In: Rosental St. (ed.). *Op. cit.*, (прим. 21), p. 13.

40. Klein O. Glimpses of Niels Bohr. Там же, с. 76.

41. См.: Jammeg M. *Op. cit.*, p. 349.

42. См.: там же, с. 347, 349.

43. Руфь Мур в своей биографии Нильса Бора сообщает, что в одной из комнат его дома в Карлсберге «висели портреты близких Бору людей, с благоговением объединенные в группы»: родителей Бора и его брата Харальда, его деда Адлера и учителя Бора, Хёффдинга. Если раньше и высказывались сомнения относительно влияния Хёффдинга на Бора, то после появления на стене его портрета они рассеялись» (Мур Р. Нильс Бор — человек и ученый. М., «Мир», 1969, с. 465).

44. Høffding H. — In: Schmidt R. (ed.). *Die Philosophie der Gegenwart in Selbstdarstellungen*. Leipzig: Felix Meiner, 1923, v. IV, p. 86.

45. См., например, там же, с. 75.

46. На датском языке книга вышла в 1892 г.; немецкое издание — 1896 г.

47. "Childhood and Youth". — In: Rosental St. (ed.). *Op. cit.*, p. 127. См. также воспоминания Дж. Нильсена: Nielsen J. Rud. *Memories of Niels Bohr*. — In: "Physics Today" 16, 1963, № 10, p. 27—28. Рассказывая о встрече с Бором в 1933 г., он пишет: «Зная об интересе Бора к Кьеркегору, я упомянул при нем о переводе, сделанном профессором Техасского университета Холлендером, вызвав тем самым Бора на разговор о Кьеркегоре. «Во время работы над диссертацией, — сказал Бор, — я жил в пасторате в Фюнене и находился тогда под сильнейшим впечатлением от Кьеркегора, читая его труды с утра до ночи. Он поистине велик своей интеллектуальной честностью и стремлением продумывать проблемы до конца, не останавливаясь на полпути. А какой у него прекрасный, возвышенный язык! Конечно, у Кьеркегора есть много такого, чего я не могу принять. Я объясняю эти вещи его временем. Но я восхищаюсь его настойчивостью и стойкостью, его всепроникающим анализом, а также тем, что все эти качества не помешали ему ощущать постоянную неудовлетворенность собой и тосковать о еще неведомой благодати».

48. Первые шаги к изучению этой проблемы сделаны Максом Джеммером в разделе «Философские основания неклассических интерпретаций» его многократно цитированной выше монографии (с. 166—180).

49. Passmore J. A. A Hundred Years of Philosophy, London, Gerald Duckworth, 1957, p. 462—463.

50. Høffding H. A History of Modern Philosophy. New York, Dover Publications, 1955, vol. 2, p. 286. Впервые эта книга была опубликована в оригинале в 1893 г. и охватывала работы, появившиеся в печати до 1880 г. (английский перевод ее был издан в 1900 г.). Хёфдинг исследовал значение нарушений непрерывности и в других работах, например в своих «Современных философах» (1904).

51. Там же, с. 286—287.

52. Там же, с. 288—289.

53. Там же, с. 287—288.

54. Бор Н. Избранные научные труды, т. II, с. 58, 59—60.

55. Rosenfeld L. Niels Bohr in the Thirties. — In: Rosental St. (ed.). Op. cit., p. 117.

56. Bohr N. My Father. — In: Rosental St. (ed.). Op. cit., p. 328.

57. Брунер Дж. С. Частное сообщение от 25 декабря 1967 г. При этом Брунер сделал замечание, которое в дальнейшем окажется существенным: «Мы с Бором поддерживали свое знакомство много лет; в частности, мы провели вместе несколько часов во время его визита в Принстонский Институт перспективных исследований. Бор был исключительно восприимчив к психологическим проблемам; не удивительно, что однажды он повторил известное замечание Маха о том, что существуют лишь две действительно фундаментальные науки: одна рассматривает ощущения с их внешней стороны и зовется физикой, а другая изучает их изнутри и называется психологией. Он не был целиком согласен с этим старым афоризмом Маха, но считал, что здесь есть рациональное зерно».

58. Бор Н. Атомная физика и человеческое познание, с. 147.

59. См. прим. 20.

60. Бор Н. Цит. соч. (прим. 58).

61. Rosenfeld L. Niels Bohr in the Thirties. — In: Rosental St. (ed.). Op. cit., p. 116.

62. Там же, с. 120.

63. См.: Бор Н. Атомная физика и человеческое познание, с. 15—26.

64. Rosenfeld L. Niels Bohr in the Thirties. — In: Rosental St. (ed.). Op. cit., p. 132—133.

65. Неполная библиография работ Бора содержится в: Meyer-Albich K. M. Op. cit., p. 191—199.

66. Rosenfeld L. Niels Bohr in the Thirties. — In: Rosental St. (ed.). Op. cit., p. 135—136. Ценное резюме взглядов Бора, относящихся к приложениям концепции дополнительности к проблемам физики, биологии, психологии и социальной антропологии, см. в: Бор Н. Атомная физика и человеческое познание, с. 115—128.

67. Bohr N. The Unity of Human Knowledge, p. 15.

68. Бор Н. Атомная физика и человеческое познание, с. 128.

69. Bohr N. The Unity of Human Knowledge, p. 14.

70. Мур Р. Нильс Бор — человек и ученый, с. 437. Есть много свидетельств того, насколько серьезными были надежды зрелого

Бора на успех таких поисков. Дж. Нильсен так пишет на с. 27 своей статьи, названной в прим. 47: «Бор много говорил о своих планах относительно последующих публикаций. «Я верю, что моя работа приближается к определенному завершению, — сказал он.— Я верю, что мои выводы найдут широкие приложения за рамками физики... Мне бы хотелось написать книгу, пригодную для использования в учебных целях. Я бы показал, что можно получить все важные результаты, почти не применяя математику. На деле именно так можно было бы добиться большей ясности хотя бы в некоторых отношениях». Но эта книга, из которой Бор хотел сделать свое завещание, так никогда и не была написана».

Аналогично Розенфельд в статье, названной в прим. 24, писал (с. 54): «Бор очень много ждал в будущем от концепции дополнительности. Свои надежды он утверждал с перушимым оптимизмом, никогда не испытывая разочарования от того, что наш нефилософский век реагировал на нее очень слабо... С неумещающим воодушевлением он говорил о своей вере в наступление такого времени, когда идеи дополнительности будут преподавать в школах и они станут частью общего образования».

71. Oppenheimer J. R. *Science and the Common Understanding*. New York, Simon & Schuster, 1953, p. 81—82.

Автор извлек много пользы для себя из обсуждений своей работы со студентами руководимого им семинара, особенно с Бернардом Лоу и Келлогом Штеллем, а также с доктором Артуром Миллером.

[О принципе дополнительности см.: «Принцип дополнительности и материалистическая диалектика». М., «Наука», 1976; Алексеев И. С. Концепция дополнительности. М., «Наука», 1978. Из общих (биографических) работ о Н. Боре см.: Клаус Е. М., Франкфурт У. И., Фрепк А. М. Нильс Бор. М., 1978. — *Ред.*]

VI. СУБЭЛЕКТРОНЫ, ИСХОДНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ И СПОР МЕЖДУ МИЛЛИКЕНОМ И ЭРЕНХАФТОМ *

ВВЕДЕНИЕ

Питер Медавар — один из немногих крупных ученых-исследователей, все еще интересующихся проблемой познания, его источников, оснований, степенью достоверности научных результатов, взаимодействием между фактами и верой и между восприятием и пониманием. В книге «Искусство разрешимого» он задает вопрос: «Что за человек ученый и какого рода рассуждения приводят к научному открытию и к углублению понимания?»¹. При этом обычные подходы к данной проблеме он считает слишком ограниченными: «То, что *делают* ученые, никогда не становилось предметом научного, т. е. этологического исследования... Бесполезно изучать научные «труды»; они не только скрывают, но и активно искажают рассуждения, лежащие в основе описываемой в них работы... Годятся лишь те данные, которые находятся за пределами результатов исследования, а чтобы их получить, нужно подслушивать у замочной скважины»².

Тому, кто изучает научную деятельность, Медавар предлагает находиться непосредственно в лаборатории или в рабочем кабинете теоретика и наблюдать работу в порядке ее выполнения. Чтобы достичь этой сформулированной Медавара цели, историки и социологи, имеющие дело с историческими проблемами, систематически используют такие свидетельства, не искаженные самоконтролем, как письма, автобиографии, сопоставленные с другими документами, устные интервью-воспоминания, проведенные квалифицированными историками, стенограммы

* Holton G. The Scientific Imagination: Case Studies. Cambridge University Press, 1978, p. 25—83 и 302—323.

диалогов, происходивших в пылу борьбы на научных собраниях, а прежде всего лабораторные журналы — документы из первых рук, прямо связанные с процессом научной работы, со всеми помарками, отпечатками пальцев и следами крови, оставленными личным участием в борьбе идей.

Эти документы могут помочь нам понять структуру убеждений и деятельность некоторых ученых, а также восприятие ими новых идей в тех случаях, когда их систематическую проверку, если она вообще была возможна, оказывалось трудно выполнить или интерпретировать. В этом исследовании я рассматриваю открытие на самой ранней стадии, когда возникновение новых концепций нелегко бывает документировать, еще до того, как новая работа вливается в основное русло науки с помощью механизмов подтверждения и проверки. На этой стадии работы можно надеяться найти ценные сведения о деликатном и малоизученном процессе становления науки, изучать который явно избегали наряду с другими Рейхенбах³ и Поппер⁴.

«САМЫЙ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЙ ВОПРОС СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИКИ»

Мое исследование сосредоточено на событиях, происходивших около 1910 г., которые привели двух физиков к прямо противоположным итогам: одного — к «успеху» (и Нобелевской премии), другого — к «неудаче» (и в конечном счете к душевной травме). В науке не помнят неудач, в истории науки их редко анализируют. Поэтому сегодня этот спор почти забыт.

Вначале противники казались явно неравными. Роберт Э. Милликен был никому не известным профессором нового Чикагского университета, человеком, которому перевалило за сорок и который имел лишь небольшое число научных публикаций. Феликс Эренхафт — из солидного Венского университета, он был на одиннадцать лет моложе Милликена, но считался опытным физиком, имел дюжину публикаций⁵. Они расходились в вопросе о величине наименьшего электрического заряда в природе. Оба понимали, что предмет их экспериментальных исследований, как и значение их спора, относится к основаниям науки.

Первая из главных работ Милликена начинается так: «Из всех физических констант две, по всеобщему признанию, имеют важнейшее значение: одна из них — скорость света, которая сейчас входит во многие фундаментальные уравнения теоретической физики, другая — предельный, или элементарный, электрический заряд, знание которого делает возможным определение абсолютных значений всех атомных и молекулярных весов, абсолютного числа молекул в данном количестве любого вещества, кинетической энергии возбуждения любой молекулы при данной температуре и значительного числа других важных физических величин.

В то время как скорость света сейчас известна с точностью до одной двадцатитысячной [в большой мере благодаря руководителю и коллеге Р. Э. Милликена в Чикаго Альберту А. Майкельсону], величина элементарного электрического заряда была до очень недавнего времени чрезвычайно неопределенной»⁶.

Со времен Майкла Фарадея было известно, что в процессе электролиза при прохождении заряда величиной около 10^5 кулон через электролит на электроде выделится 1 грамм-атом одновалентного вещества. Если предположить, что такое количество заряда перенесено N ионами, каждый из которых имеет заряд e (здесь N — число Авогадро), то $Ne = 10^5$ кулон. Если теперь независимым образом точно измерить e , то и N — число атомов в грамм-атоме любого вещества — тоже будет известно точно, в результате чего можно будет вычислить много других фундаментальных констант. В начале XX в. многие физики отождествляли e с зарядом электрона. Однако недостаточно точно определенная величина e вызывала сомнения в величине N и всего, что с ней связано.

Полемика между Эренхафтом и Милликеном, часто называемая «битвой за электрон», вспыхнула весной 1910 г. Всего за год до этого Эренхафт опубликовал результаты измерений величины «элементарного количества электричества», в общем схожие с тем, что делал Милликен. Но теперь он внезапно объявил об открытии электрических зарядов, гораздо меньших заряда электрона. Милликен позднее писал, что новое заявление Эренхафта «поднимает вопрос, который правильно будет назвать самым фундаментальным вопросом современной физики»⁷. В ряде все более длинных и подробных статей Эренхафт

и его ученики утверждали, что ими открыты «субэлектроны». Это означало, что они обнаружили капли жидкости, частицы металла и другие небольшие объекты с зарядами, гораздо меньшими, чем заряд электрона. С течением времени Эренхафт находил заряды, равные половине, одной пятой, одной десятой, одной сотой, одной тысячной заряда электрона. Дальнейшее развитие этой работы не оставило, казалось, никаких оснований предполагать, что Эренхафт обнаружит существование какой-то нижней границы для электрического заряда, связанного с веществом. С другой стороны, почти нигде, кроме лабораторий Венской группы, эти результаты не были получены. В то же время Милликен и его ученики наряду с другими неутомимо уточняли и публиковали данные о неделимости заряда электрона.

Эта полемика гремела в научном мире на протяжении ряда лет. Множилось число посвященных ей статей. В дискуссиях на научных собраниях принимали участие Макс Планк, Жан Перрен, Альберт Эйнштейн, Арнольд Зоммерфельд, Макс Борн и Эрвин Шредингер. Периодически выпускались подробные обзоры имеющихся данных⁸. В 1927 г., три года спустя после того, как Милликен получил Нобелевскую премию — частично за свои работы по определению заряда электрона, уважаемый физик О. Д. Хвольсон все еще называл полемику «пресловутым вопросом» и добавлял: она «продолжается уже 16 лет, и до сих пор нельзя утверждать, чтобы этот спор был окончательно решен в ту или другую сторону, т. е. чтобы все без исключения ученые примкнули к одному из двух возможных решений вопроса. Положение представляется довольно странным»⁹.

Чтобы сегодня оценить серьезность заявлений Эренхафта, необходимо помнить, что некоторые ныне общепризнанные взгляды искажают историческую перспективу. Во-первых, всякий, кто знаком с прекрасным «опытом Милликена с масляными капельками», сейчас традиционно относимым к курсу общей физики, вряд ли согласится с опровергающими его результатами. Но ведь то, что преподается, является скорее педагогическим приемом для поддержания убеждения в элементарности заряда электрона, чем серьезной проверкой такого убеждения. И к тому же здесь весьма трудно получить «хорошие данные». Проведенный недавно одним преподавателем анализ его

собственной педагогической деятельности показал, что, «несмотря на усовершенствования установки Милликена с масляными капельками... этот опыт остается, по-видимому, самым обескураживающим из всех студенческих лабораторных упражнений»¹⁰.

Во-вторых, существование своего рода «субэлектронного» заряда было постулировано в последние годы как часть модели кварков в физике элементарных частиц. В этой модели предполагается существование объектов с зарядом, равным одной или двум третям заряда электрона. Но согласно имеющимся ныне данным теории и эксперимента, появление таких дробных зарядов, связанных с кварками, вне ядерных частиц (на капельках или подобных объектах, которые наблюдали Эренхафт и Милликен) крайне маловероятно даже однажды, а не то что многократно. В своей статье, опубликованной в феврале 1910 г., Милликен действительно сделал мимоходом замечание, за которое позднее ухватился Эренхафт: «Я отбросил одно неточное и неподтвержденное наблюдение над каплей, несомненно однократно заряженной, которое давало значение заряда на капле примерно на 30% ниже окончательного значения e »¹¹. Подавляющее большинство данных свидетельствует о том, что эта единственная аномалия в опубликованных результатах Милликена (впрочем, как и во всех других публикациях на эту тему, за исключением работ Эренхафта и его школы) есть результат ошибки измерения. Это объяснение было предложено Милликеном и стало общепризнанным¹².

В-третьих, нам не следует ни переносить на ранние этапы развития науки наши современные представления о противоположных взглядах, ни применять критерии, более подходящие для окончательного подтверждения теории. Около 1910 г. не могло быть известно, что результаты исследований Милликена по электронам окажутся в конечном счете плодотворными, и притом не только для физики, но также для химии, астрономии и техники. Невозможно было также предвидеть, что столь удивительные результаты Эренхафта не смогут принести ничего полезного в отличие от экспериментов, например, Анри Беккереля, положившего начало изучению радиоактивности экспериментом, который он совершенно неправильно интерпретировал. Лишь оглядываясь назад, можно подумать, что

«риск» Милликена и Эренхафта в то давнее время был существенно различен.

В-четвертых, интерес к полемике тогда усиливался еще и потому, что она касалась не только природы электрических зарядов, но и поведения несущих их малых частиц. Недавние достижения микроскопии, равно как и основополагающие работы Эйнштейна, Мариана Смолуховского и Перрена, сделали более доступным то, что Вольфганг Оствальд назвал «миром пренебрежимых размеров». Широко разделялось мнение, что исследование коллоидного состояния (дисперсного состояния материи, при котором размеры частиц находятся между 10^{-4} и 10^{-7} см) было передовым рубежом как для чистой, так и для прикладной науки, где мог быть переброшен мост между органической и неорганической материей. Эта область казалась многообещающей и для медико-биологических исследований, и для промышленности¹³. В такой обстановке дискуссии о зарядах, переносимых малыми частицами, приобретали еще большую важность.

ГЛАВНЫЕ ГЕРОИ

В своей работе Милликен и Эренхафт взаимодействовали друг с другом и с научной средой (имеются в виду каноническое знание, институты, в рамках которых велась полемика или вырабатывалось общее мнение, и т. д.) около 1910 г. Поэтому можно ожидать, что биографические детали и некоторые сведения о культурном и социальном контексте окажутся полезными для понимания их столкновения.

Роберт Эндрюс Милликен родился в 1868 г. в Иллинойсе и умер в 1953 г. в Пасадене (Калифорния)¹⁴. В зените своей карьеры он был, по-видимому, наиболее известным и влиятельным ученым в Соединенных Штатах: физиком, администратором, педагогом и одним из творцов политики. Как показывает его автобиография, происхождение Милликена было скромным. Подобно многим другим американским ученым своего поколения, он был сыном священника из маленького городка. Его родители — Сайлес Фрэнклин Милликен и Мэри Джейн Эндрюс — вырастили шестерых детей в традициях, не оставлявших места для больших претензий. Дед Роберта был среди первых фермеров-поселенцев на берегах Миссисипи в западном

Иллинойсе; говорят, что в 1825 г. он пешком шел за крытым фургоном, когда его семья перебиралась с Беркширских холмов на Востоке к границе, к свободным землям Запада. Мальчиком Роберт Милликен вел жизнь, знакомую нам по книгам Марка Твена: пароходы на Миссисипи, сельская работа с семьей на ферме площадью в один акр, купание в реке, босоногая жизнь, деревенское, простое, прагматическое, прямое и глубоко религиозное воспитание.

В 1886 г. Милликен поступил в Оберлин-колледж, где записался на один из курсов физики («полная неудача»). Интерес же и склонность к этому предмету он открыл у себя лишь тогда, когда профессор попросил его помочь в преподавании физики. Для выполнения дипломной работы он направился в Колумбийский университет, где два года учился у Майкла Пьюпина, будучи единственным дипломником по физике. А. А. Майкельсон, с которым Милликен познакомился в 1894 г. в Чикаго, дал несколько советов, которые помогли ему выполнить эксперименты, составившие его диссертацию. Получив в 1895 г. степень доктора философии в Колумбийском университете, он не нашел, однако, подходящей работы и, заняв денег у Пьюпина, в мае 1895 г. поехал в Германию для продолжения образования. Туда он прибыл в самый подходящий момент. Через несколько месяцев прогремела работа Вильгельма Копрада Рентгена, за ней последовала работа Беккереля, и всю физику охватило возбуждение. В 1896 г. Милликен принял приглашение Майкельсона поступить работать на физический факультет Чикагского университета, и начиная с 1908 г. его статьи о заряде электрона стали поступать из Райерсоновской лаборатории в Чикаго. Со временем Милликен достиг значительных и разнообразных исследовательских результатов — сначала в Чикаго, а после 1921 г. — организуя и возглавляя Калифорнийский технологический институт. Его имя связано с девятью областями исследований, согласно второму изданию справочника «Американские ученые» (1910), и с двадцатью — согласно пятому изданию (1933). По терминологии Исайи Берлина, он был скорее «лисой», чем «сжком».

Широту научных интересов Милликена с самого начала его деятельности легко понять из оставленных им архивных материалов¹⁵. Многие открывает его тетрадь, начатая,

по-видимому, в 1897 или в 1898 году и озаглавленная «Ссылки на важные статьи». Недавно опубликованные статьи по физике аккуратно записаны по разделам, имеющим заголовки типа «Эффект Зеемана» (1897—1907 гг.), «Броуновское движение» (начиная с 1905 г.) и «*N*-лучи Блондло». Эти списки, по-видимому, хотя бы частично, были связаны с обязанностями Милликена в Чикаго. Он пишет в своей автобиографии: «Вскоре я оказался ответственным за еженедельный семинар по физике, который профессор Майкельсон попросил меня принять у него... Более того, я начал читать курсы лекций по электривной теории, по кинетической теории и по термодинамике... [После 1900 г. Майкельсон был так увлечен своими собственными исследованиями], что попросил меня дать темы исследований трем предполагаемым кандидатам на получение докторской степени... и взять на себя всю ответственность за руководство их работой, так что в 1902 и 1903 гг. передо мной стояло много проблем, помимо моих собственных...»¹⁶.

Один из разделов этой тетради, озаглавленный «Электронная теория материи», был составлен путем добавления одной ссылки за другой в течение ряда лет. Он открывается статьями: « m/e эффект Зеемана» («*Phil. Mag.*» 43, 1897, р. 226) и «Катодные лучи, Дж. Дж. Томсон» («*Phil. Mag.*» 44, 1897, р. 293) и продолжается важными статьями, публиковавшимися в течение нескольких последующих лет, включая ту, где сообщается о раннем определении e Томсоном, Дж. С. Таунсендом и Г. А. Вильсоном. Очевидно, Милликен внимательно следил за развитием этой работы.

Последняя страница и внутренняя часть обложки тетради озаглавлены «Темы исследований», и содержащиеся здесь пункты датированы с 1898 по 1914 г. Первым из двадцати семи пунктов (21 мая 1898 г.) идет: «Связь сопротивления воздуха со скоростью (падающего) движущегося тела» — основная часть проблемы, с которой пришлось иметь дело десятилетие спустя в работах Милликена по измерению зарядов движущихся капель. В пункте девятом, записанном, по-видимому, в 1903 г., говорится о «Законе Стокса для размера водяных капель в облаках; см. статьи Дж. Дж. Томсона о размере ϵ и Барус («*Phil. Mag.*» 4, 1902, р. 24)». Совершенно ясно, что до 1908 г., когда Милликен был занят преподаванием и своим пер-

вым исследованием эмиссии электронов из металлов под действием падающего света и сильных электрических полей, он заложил теоретические основы для своих более поздних работ по заряду электрона¹⁷.

На некоторое время мы оставим Милликена на пороге его большой работы и обратимся к другому действующему лицу — Феликсу Эрэнхафту. Он родился в Вене в 1879 г. в высокообразованной семье; его отец был старший медицинский советник (Obermedizinalrat), а мать — племянницей ученика Ж.Б.Л. Фуко. Он учился в университете и в Технологическом институте в Вене¹⁸. В самой ранней своей работе (1900 г.) он одним из первых получил и изучал неорганические коллоиды. В 1903 г. он стал ассистентом Виктора фон Ланга в Венском университете. Получив в 1905 г. должность приват-доцента, Феликс Эрэнхафт к 1909 г. был преподавателем статистической механики. Среди его коллег были Феликс Экснер, Фридрих Хазенёрль, Стефан Мейер, Эгон фон Швейдлер, Карл Прибрам и Эрнст Лехнер. В 1912 г. Эрэнхафт стал экстраординарным профессором Венского университета, а в 1920 г. — директором Третьего физического института. Он открыл фотофорез и дал название этому эффекту в 1918 г. После захвата Австрии нацистами в 1938 г. он эмигрировал в Соединенные Штаты. В 1946 г. Эрэнхафт вернулся на свой пост в Вене и умер там в 1952 г.

К 1909 г. Эрэнхафт был уже известен своими экспериментальными исследованиями броуновского движения в газах, основанными на теоретических идеях Эйнштейна и Смолуховского. За эту работу он получил премию Либена Венской академии наук в 1910 г. Он был общительным человеком, и его дом всегда был открыт для ученых со всех концов мира. Согласно Филиппу Франку¹⁹, Эйнштейн был дружен с Эрэнхафтом и, проезжая через Вену, гостил у него. Начиная примерно с 1920 г. и в особенности после провозглашения им в середине 30-х годов своего открытия магнитных монополей, жизнь Эрэнхафта сосредоточилась на безрезультатной полемике, касающейся интерпретации сложных физических явлений. Достаточно сказать, что за период с 1940 по 1946 г. он около тридцати раз выступал относительно монополей перед скептической аудиторией Американского физического общества²⁰. И если о нем когда-либо вспоминают, то обычно именно в связи с этим.

В профессиональную подготовку Милликена европейская континентальная традиция физики впервые вошла через его учителя Майкла Пьюпина, получившего свою докторскую степень в Берлине. Милликен сообщает в своей автобиографии, что курс Пьюпина по оптике и электромагнетизму буквально открыл ему глаза, и он стал чрезвычайно уважать его и восхищаться им. Но Милликена в то время удивляло отношение Пьюпина к атомизму. Пьюпин находился под влиянием взглядов, пропагандируемых школами энергетизма и антиатомизма, и как-то он сказал Милликену, что вообще не верит в кинетическую теорию. Важность или истинность атомистической теории все еще оспаривалась в 1904 г., когда она была основным предметом дебатов на научном конгрессе в Сент-Луисе²¹. Первый Сольвеевский конгресс в конце 1911 г. в значительной степени был посвящен фундаментальным, неустранимым трудностям в физике, основанной на атомистической гипотезе, и лишь немногие критики, подобно Пьеру Дюгему, высмеивали ее к 1913 г.

Обычно многие студенты усваивают эпистемологию своих почтенных учителей. Но с Милликеном ничего подобного не случилось. Вспомним, что отвергал Милликен, несмотря на пример Пьюпина. Оствальд, Мах, Шталло, Гелм и другие на рубеже века надеялись построить науку на чисто феноменологической основе, без «ненужных гипотез», таких, как атомизм, часто приводимый в пример по этому поводу. Несмотря на достижения атомной теории, к которым относилось, например, данное Максвеллом доказательство независимости вязкости газов от их плотности, в действительности имелось лишь немного прямых опытных свидетельств реальности атомов и молекул, то есть необходимости дискретности как таковой. Ученые не видели фотографий треков частиц в камере Вильсона вплоть до 1912 г.²² Пока менее непосредственные доказательства, получаемые с помощью сцинтилляционных экранов и счетчиков Гейгера, не были подкреплены, отдельные вспышки или щелчки этих приборов нельзя было убедительным образом связать с индивидуальными атомными событиями. И пока такой уровень не был достигнут, ученые работали со средними величинами, а не с отдельными атомными объектами.

Одно из лучших кратких описаний образа мыслей этой школы, наиболее влиятельным сторонником которой был Эрнст Мах, содержится в биографии Маха, написанной физиком Антоном Лампой. Поскольку сам Лампа тоже скоро появится в нашем изложении, я воспользуюсь его исследованием. Лампа указывает, что научные интересы Маха лежали во многих, широко разбросанных областях, и Мах искал одну объединяющую позицию, которой он мог бы придерживаться при проведении любых исследований. Эту основу он нашел в мире элементарных ощущений, предшествующем миру научных построений: «Пытаясь найти точку зрения, которая бы не нуждалась в изменениях, когда он переходил от [проблем] физики к физиологии и психологии, Мах начал с естественной картины мира, которую каждый, без особых усилий, ощущает в себе после пробуждения интеллекта. Мах проанализировал эту естественную картину мира. Результатом анализа явилась его «теория элементов». Физические результаты могут быть разложены на элементы, которые до сих пор считались неразложимыми: цвета, звуки, давление, тепло, расстояния, времена и т. д. Эти элементы оказываются зависящими от обстоятельств, лежащих как в пространственных границах нашего тела, так и вне этих границ. В случае, когда имеет место последнее — и только в таком случае, — мы называем эти элементы также опытом [впечатлениями, Empfindungen]. Следовательно, мир физики и [мир] психологии содержат одни и те же элементы... В естественной картине мира материальные тела означают относительно устойчивые комплексы элементов — цветов, звуков, тепла, давления и т. д.

Комплекс всех элементов образует мир... Псевдопроблемы возникают, когда формулируются концепции сущностей (материя, душа); такие проблемы можно решать, только анализируя комплексы и возвращаясь к элементам»²³.

Одно из следствий такой позиции относится к тому, что было названо «атомистикой». Ища идеал в феноменологической физике, Мах отказался признать атом фундаментальным физическим объектом, считая, что его следует рассматривать самое большее как эвристическое средство исследований. (При соблюдении должных условий и предосторожностей он тем не менее готов был допустить гораздо более дерзкое теоретическое применение атомис-

тических идей по сравнению с общепринятым: так, для представления структуры молекул он предложил использовать более трех пространственных измерений.)

Принятие атомных объектов в качестве предмета исследования — будь то в физике, химии или электричестве — рассматривалось махистами как допущение ложной и даже опасной метафизической гипотезы. Освобождение пауки от всех метафизических пут было целью устремлений всей жизни Маха. Соответственно он был не только продуктивным физиком и авторитетным философом, но и влиятельной фигурой в университетской политике²⁴. Находясь в контакте со своими учениками и последователями, он следил за тем, чтобы его точка зрения была представлена в журналах и на факультетах.

Случилось так, что 1910 г., когда впервые возникла полемика между Милликеном и Эренхафтом, ознаменовался двумя другими событиями, имеющими отношение к данному исследованию. Одним из них была кульминация получившей широкий резонанс эпистемологической битвы, в которой участвовал Эрнст Мах. В том же самом томе «*Physikalische Zeitschrift*», где было опубликовано первое подробное сообщение Эренхафта об открытии им субэлектронов, содержатся также горячие, язвительные, часто содержащие аргументы *ad hominem* полемические статьи, которыми обменивались Мах и Макс Планк²⁵.

Другое событие того же года усилило настороженность, ощущаемую окружением Маха: открылась вакансия на физическом факультете Немецкого университета в Праге, где сам Мах активно работал в течение почти трех десятилетий. Двое из сотрудников этого факультета — Антон Лампа и Георг Пик — сразу же начали поиски подходящих кандидатов. Пик прежде был ассистентом Маха, Лампа — его последователем; являясь ассистентом Виктора фон Ланга в Венском университете, он преподавал там с 1904 г. до своего переезда в Прагу в 1909 г. Лампа был не только физиком, но и борцом за реформу образования. Филипп Франк, впоследствии его коллега в Праге, выразил это так: «Основную цель своей жизни Лампа видел в том, чтобы распространять идеи Маха и находить для них приверженцев»²⁶.

Лампа и Пик искали человека, на которого можно было бы положиться в том, что касается проведения в физике взглядов Маха. Основным кандидатом был Густав Яуманн

из Брно. Чтобы получить одобрение Маха, Лампа писал Маху в письме от 9 февраля 1910 г.: «Мне нет необходимости еще раз заверять Вас в том, что талант Яуманна кажется мне несомненным и весь его образ мыслей — импонирующим. Я вижу идеал теоретической физики в чисто феноменологическом представлении (*Darstellung*), пример чему мы находим в термодинамике. Яуманн исходит из стремления построить такое же феноменологическое представление для электричества и всего, что может быть с ним связано. Он поэтому отвергает теорию атомов и электронов...» Лампа заканчивает выражением некоторого беспокойства по поводу Яуманна и сообщением о том, что он посетит Маха в Вене «через несколько недель». По-видимому, Мах незамедлительно прислал свое одобрение, поскольку в письме от 18 февраля 1910 г. Лампа поблагодарил Маха за ответ, говоря, что все сомнения отпали и что он будет активно действовать в пользу Яуманна²⁷. И все же процесс выбора затянулся еще на многие месяцы. Другим кандидатом был Альберт Эйнштейн из Цюрихского университета, которого махисты все еще считали своим сторонником²⁸. Он тогда переписывался с Махом и одно из своих писем подписал даже так: «С уважением — Ваш ученик»²⁹. В конце концов кафедру в Праге занял Эйнштейн в марте 1911 г.³⁰

СПОСОБНОСТЬ ВИДЕТЬ ЭЛЕКТРОНЫ

Оставим на время этих европейцев за их занятиями философией и переговорами об университетских делах и вернемся к Милликену, находившемуся в неведении относительно этих событий или их грядущих последствий. Его окружала совсем иная атмосфера. Милликен свидетельствует, что его собственные воззрения были цельными, прагматичными и прямолинейными, включавшими в себя стремление к прямому объяснению с помощью зримых образов. Слова «зримый образ» повторяются в его работах, возможно, в ответ на обвинения в том, что он занимается построением гипотез. Когда Милликен в первые годы своей работы писал об электроны, он, конечно, не думал о частице, имеющей магнитный момент, момент импульса, длину волны, собственную энергию или иные свойства, которые мы сейчас считаем связанными с электроном и определяющими его. Он полагал, что электрон —

это дискретная корпускула³¹, несущая элементарный электрический заряд, действие которой можно увидеть собственными глазами. В действительности он был близок к утверждению, что можно видеть и сам электрон: *«Тот, кто видел этот эксперимент, — пишет он в своей автобиографии об эксперименте с масляными капельками, — а его наблюдали сотни исследователей, фактически видел электрон»*. И снова, даже с меньшими оговорками: *«Но сам электрон, измеренный человеком... уже не является некой неопределенностью или гипотезой. Это новый экспериментальный факт, который впервые предстал перед глазами нашего поколения, но который отныне может видеть любой, кто пожелает»*³².

Поскольку «Автобиография» Милликена была опубликована, когда ему было за восемьдесят, это может навести на подозрение относительно достоверности некоторых утверждений. В ней есть места, по отношению к которым такие опасения основательны. Однако в действительности эта «Автобиография» является сочетанием новых и старых работ. Изучая материалы из архива Милликена, можно заключить, что публикация, по-видимому, была составлена редактором под руководством самого Милликена³³. Большие фрагменты опубликованной книги повторяют более ранние публикации. Это относится и к приведенным цитатам, взятым прямо из речи Милликена при получении Нобелевской премии в 1924 г.³⁴

Другие места из его документов и публикаций еще более уточняют антропоморфическую метафору, используемую Миллиkenом, когда он имел дело непосредственно с экспериментальной ситуацией. Он пишет, например, что, когда маленькая капелька масла «двигалась вверх (в электрическом поле, против гравитационного притяжения) с минимальной возможной скоростью, я мог быть уверен, что па ней сидит именно один изолированный электрон. Значит, весь аппарат представлял собой устройство, позволяющее поймать и фактически увидеть отдельный электрон, едущий на масляной капельке»³⁵.

Иногда, следя за заряженной масляной капелькой, удерживаемой в электрическом поле, он наблюдал внезапное изменение ее движения, когда капелька сталкивалась с заряженной молекулой (ионом) в воздухе. Это наблюдение было даже более важным, поскольку *дискретность* наблюдаемого явления — нечто новое по тем временам —

прекрасно согласовывалась с гипотетической дискретностью в концепции квантованного заряда. Здесь лежал важнейший новый факт, и воображение ученого тут же помогло его интерпретировать: «...один-единственный электрон вскакивал на капельку. В самом деле, мы действительно могли точно определить моменты, когда он вскакивал или спрыгивал»³⁶. Более ранние документы содержат ту же метафору. В первоначальном варианте своей «Автобиографии»³⁷ Милликен писал, что он «действительно мог определять точно моменты, когда [электрон] вскакивал или спрыгивал». Он дает также и другие зримые образы, например: «Я видел, как уравновешенная капля внезапно поймала ион»³⁸. Милликен обладал тем же даром наглядного воображения, что и другие крупные ученые³⁹. Поэтому в своем коротком очерке об Эрнесте Резерфорде он с одобрением цитировал то, что называл «очень характерным для Резерфорда замечанием»: «Ионы — это резвые маленькие плутишки, их почти можно видеть»⁴⁰.

Примерно тогда же, когда Милликен начал «видеть» свои электроны, Жан Перрен во Франции сражался за атомную структуру с той же силой убежденности, влекущей за собой сосредоточение на образах, которая отличала решимость Милликена продемонстрировать атомизм электрического заряда. Мэри Джо Най так пишет о Перрене: «Главной целью Перрена с самого начала его научной карьеры было доказать существование невидимых атомов, отвергнуть как «пустой антропоморфизм» ту критику, которая казалась многим другим логически необходимой... Один из студентов писал о Перрене: «...Он «видит» атомы — в этом нет никакого сомнения, — как святой Фома видел серафима»⁴¹.

Путь, которым Милликен подошел к своим исследованиям заряда электрона, помогает понять три взаимосвязанных фактора: 1) его способность взглянуть свежим, ясным взглядом на то, что происходит; 2) силу его наглядного воображения, помогавшего делать выводы, и 3) за всем этим почти неосознанную и, несомненно, непроанализированную уверенность в заранее принятой теории электричества, которая помогла ему видеть и интерпретировать.

Милликен довольно откровенно описал ряд случайных событий, натолкнувших его на этот путь. На одном из еженедельных семинаров по физике в Чикаго он излагал содержание знаменитой работы Дж. Дж. Томсона 1897 г. по катодным лучам. «[Она], — писал впоследствии Милликен об этой работе, — несравненным образом свела воедино доказательства того, что катодные лучи состоят не из эфирных волн, как утверждали Ленард и немцы, а из частиц вещества, несущих электрический заряд, причем массы этих частиц составляют около тысячной доли массы самого легкого из известных атомов, поэтому они являются самыми мелкими среди масс, о существовании которых мы знаем. Он назвал эти частицы «корпускулами»... [Эта статья] произвела на меня огромное впечатление и привела меня к работе, ставшей делом моей жизни»⁴².

Однако в течение последующих десяти лет исследования Милликена были не особенно успешными. До 1907 г. он опубликовал только одну статью по своей диссертации (1895), две короткие заметки в 1897 г. и одну в 1906 г., перевод «Оптики» Пауля Друде и пять элементарных учебников. В 1907 г. он опубликовал совместно с Джорджем Випчестером две статьи по фотоэлектрическому эффекту, получившие некоторую известность⁴³. В своей «Автобиографии» Милликен намекает на то, что к этому времени он был скорее разочарован в самом себе. Описывая свою научную деятельность, он пользуется такими выражениями, как «эта явно бесплодная работа»⁴⁴ или «мои собственные исследовательские неудачи»⁴⁵. Он действительно вполне мог быть озабочен своими шансами как ученого-исследователя. В 1908 г. по какой-то причине, о которой хотелось бы знать больше, он «распрощался с сочинением учебников... и [осознавая риск дальнейших неудач] интенсивно углубился в новую проблему»⁴⁶ — определение величины элементарного заряда e .

Выбор Милликеном данного конкретного объекта исследований имел четыре очевидных преимущества. Первым было то, что тогда «всех интересовала величина заряда электрона»⁴⁷, известная в то время с низкой точностью, причем результаты сильно различались в зависимости от использованного метода. Второе преимущество состояло в том, что наилучший экспериментальный метод, кото-

рым следовало пользоваться, казался Милликену вполне очевидным и довольно простым, хотя впоследствии это и не оправдалось. Третье — измерение фундаментальной константы с более высокой точностью (а не поиск ошеломляющих новинок в физике, на что был настроен Эренхафт) как раз соответствовало способностям и темпераменту Милликена и традиции, в которой он получил образование. И четвертое преимущество состояло в том, что теоретические основы, или эпистемологические предположения, нужные для работы, казались Милликену вполне ясными: «Будучи совершенно уверенным, что проблема величины электрического заряда (франклиновский фундаментальный атом электричества — несомненно, инвариантный и неделимый — предполагаемый элементарный кирпичик в мире электричества) чрезвычайно важна, я и взялся за нее»⁴⁸.

Его совершенно не коснулись шум и ожесточенные споры, кипевшие в Европе относительно «реальности» молекул, атомов и электронов или приемлемости дискретных сущностей в отличие от непрерывных! Заряд электрона существовал, и было «чрезвычайно важно» найти его величину. Когда же Милликен почувствовал необходимость философского обоснования своей работы, он нашел его в трудах великого героя американского народа, государственного деятеля и ученого, мудрого Бенджамина Франклина.

Милликен постоянно упоминает Франклина как первого, кто утверждал дискретность и материальную реальность «электрической частицы или атома»⁴⁹, и он часто цитирует фразу, приписываемую им Франклину: «Электрическая субстанция состоит из чрезвычайно малых частиц, так как она способна проникать в обыкновенную материю, даже в самую плотную, с большой легкостью и свободой, как бы не встречая сколько-нибудь заметного сопротивления»⁵⁰. Франклин — отец всего этого предмета, «потому что нет ни одной теории электричества, которая не восходила бы к нашему Бенджамину Франклину»⁵¹. Результаты всех современных исследований попросту «вернули нас очень близко к тому, чего достиг Франклин в 1750 г., с той единственной разницей, что наша современная электронная теория основывается на большем количестве чрезвычайно прямых и убедительных доказательств»⁵². В 1948 г. в связи с недавними торжествами по

поводу пятидесятилетия «недвусмысленного установления электронной теории вещества» Дж. Дж. Томсоном Милликен заметил, что, поскольку Франклин начал свои эксперименты в 1747 г., следовало бы также отметить 200-летие «открытия Франклином электрона»⁵³. Еще значительно раньше, до того, как Милликен всерьез обратился к своей работе по заряду электрона, перечень достижений Франклина (вместе с его портретом на целую страницу) можно было найти в некоторых из ранних учебников, одним из соавторов которых был Милликен. В книге, вышедшей в 1908 г., описывается «так называемая одножидкостная теория» Франклина и добавляется: «Ее современная модификация недавно получила признание благодаря... лорду Кельвину и Дж. Дж. Томсону», описавшим «очень маленькие отрицательно заряженные корпускулы, или электроны»⁵⁴.

Милликен был не единственным, кто видел связь между идеями Франклина и современной теорией электричества. Вот только два примера: ее отмечал Резерфорд в своей речи в Филадельфии в 1906 г. на праздновании 200-летия со дня рождения Франклина⁵⁵, а несколькими годами раньше на нее указывал лорд Кельвин в статье, посвященной усовершенствованию Эпинусом теории Франклина⁵⁶. И все же, когда Милликен начал свою работу в первом десятилетии нового века, было вовсе не обязательно придерживаться атомистических взглядов на электричество, не говоря уже о том, чтобы принимать теорию, связанную с именем Франклина. Если бы Милликен последовал примеру Пьюпина, он мог бы стать сторонником конкурирующей теории электричества, основанной на представлении о непрерывной среде, а не на представлениях атомизма. Максвелловская теория электричества, будучи внешне совершенно безразличной в отношении природы электричества, позволяла легче представлять себе электричество в терминах непрерывных перемещений, движения электромагнитного эфира, нежели в терминах атомистических структур. Максвелл в 1873 г. в своей книге «Электричество и магнетизм» заметил, что электролиз, как кажется, наводит на представление об определенной величине электрического заряда: «Для удобства описания мы можем назвать эту (открытую в экспериментах Фарадея) постоянную молекулярного заряда молекулой электричества». Он, однако, добавил, что эта удобная терминология, «столь

грубая и не гармонирующая с остальным содержанием данного труда», не должна вводить нас в заблуждение, каким явилось бы приписывание реального существования частицам электричества: «Теория молекулярных зарядов может использоваться как метод, позволяющий запомнить большое число фактов относительно электролиза. Тем не менее совершенно невероятно, что мы, когда достигнем понимания истинной природы электролиза, сохраним в какой-либо форме теорию молекулярных зарядов, потому что тогда у нас будет прочная основа для построения правильной теории электрического тока и мы не будем нуждаться в этих временных гипотезах»⁵⁷.

Взгляд на атомизм электричества как на эвристическое средство был широко распространен в Англии и на континенте до успехов корпускулярной точки зрения в работах Питера Зеемана, Г. А. Лоренца и Дж. Дж. Томсона. Артур Шустер так писал о взглядах, принятых в начале 80-х годов XIX в.: «Изолированное существование отдельного атома электричества никогда не представлялось мне возможным, а если бы и представилось и если бы я открыто выразил такое еретическое мнение, вряд ли меня считали бы серьезным физиком, потому что в науке нетрудно перейти грань дозволенной ереси»⁵⁸. В 1897 г. лорд Кельвин все еще считал заслуживающей тщательного рассмотрения идею о том, что «электричество — это непрерывная однородная жидкость»⁵⁹. Макс Планк признавался, что даже в 1900 г. он не был полностью убежден в электронной гипотезе⁶⁰. И даже когда атомистическая гипотеза в теории электричества казалась убедительной, из нее вовсе не вытекало существование элементарного заряда электрона. Как заметил позже Милликен, многие физики в то время верили в возможность того, что заряд электрона является просто «среднестатистической» величиной⁶¹. Однако все имеющиеся документы показывают, что ни в начале своей работы по электронам, ни позже Милликен никогда не подвергал такую возможность никакой детальной проверке.

Оглядываясь назад, легко увидеть доказательства, которые для всех могли бы разрешить спор в пользу теории частиц с элементарным электрическим зарядом даже до работ Милликена: измеренное Дж. Дж. Томсоном постоянное отношение заряда к массе для катодных лучей; измеренный Резерфордом заряд α -частиц; заряд на обла-

ках, состоящих из капелек различных жидкостей, определенный Дж. Дж. Томсоном, его учеником Таунсендом и Г. А. Вильсоном⁶². Однако, даже когда погрешность измерений не была чрезмерной, все эти методы имели один неизбежный недостаток — тот же, что и при вычислении элементарного заряда, выделяемого при электролизе: они определяли *средний* заряд по наблюдениям за очень многими гипотетическими индивидуальными зарядами одновременно. В лучшем случае это были косвенные измерения *отдельного* заряда e ; и по крайней мере e оказывалось статистическим средним по распределению неизвестной формы. Никто до Милликена не измерял зарядов отдельных объектов и не находил их равными одной, двум или нескольким единицам электричества и тем более не наблюдал, как заряженный объект дискретным образом меняет свой заряд на 1, 2, 3 ... единицы заряда.

Милликен также не имел ни малейшей надежды сделать это, когда он приступил к измерению заряда электрона. Начиная эту работу со своим студентом Л. Биджменом, он использовал метод Г. А. Вильсона, по существу, без изменений. Облака капелек создавались в камере Вильсона между двумя параллельными горизонтальными пластинами заряженного конденсатора. Они наблюдали, как медленно падают верхние слои облаков, содержащие самые мелкие капельки. Часть из них падала под действием силы тяжести (со скоростью v_1), а другая часть падала быстрее благодаря дополнительному влиянию электрического поля в конденсаторе (со скоростью v_2). Предполагая, во-первых, выполнение закона Стокса при движении капелек, во-вторых, что каждая капля образовалась на однократно заряженном ионе и не уменьшается заметно за счет испарения и, в-третьих, что все последующие облака формируются одинаковым образом, можно легко выразить заряд гипотетической единицы электричества через наблюдаемые величины (скорости падения v_1 и v_2 ; напряженность электрического поля E ; плотность капли δ и вязкость газа μ)⁶³. Средний заряд на капле, таким образом, выразится формулой:

$$q = \frac{4}{3} \pi \left(\frac{9\mu}{2g} \right)^{\frac{3}{2}} \frac{g}{E\delta^{\frac{1}{2}}} (v_2 - v_1) \cdot v_1^{\frac{1}{2}}$$

Этот метод (назовем его «Метод I») изобиловал недостатками — как теоретическими, так и практическими. Опубликованные измерения Вильсона показывали разброс измеренных значений e от 2×10^{-10} эл.-ст. ед. до $4,4 \times 10^{-10}$ эл.-ст. ед.; средняя величина равнялась $3,1 \times 10^{-10}$ эл.-ст. ед. (Ранее, в 1903 г., Дж. Дж. Томсон получил $e = 3,4 \times 10^{-10}$ эл.-ст. ед. аналогичным методом.) Тем не менее в 1907—1908 гг. Милликен намеревался лишь слегка изменить эту процедуру в целях повышения точности. Соответственно Милликен и Биджмен использовали вместо рентгеновских лучей радий для ионизации насыщенного пара до расширения, в процессе которого образовывалось облако. Результаты десяти серий их наблюдений дали для e значения от $3,66 \times 10^{-10}$ эл.-ст. ед. до $4,37 \times 10^{-10}$ эл.-ст. ед., среднее по которым было $4,03 \times 10^{-10}$ эл.-ст. ед. Это, конечно, было улучшением результатов Вильсона, несмотря на то что использовались те же неявные предположения для усреднения по статистическому распределению величин зарядов, существующих в природе.

СЛУЧАЙНОЕ ОТКРЫТИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА — «МЕТОД II»

Совместная работа Милликена и Биджмена была доложена на конференции Американского физического общества в Чикаго в начале января 1908 г. Ее реферат на одной странице был опубликован в феврале⁶⁴. И почти незамедлительно к этой первой попытке широкое внимание привлек не кто иной, как Эрнест Резерфорд⁶⁵. Результат Милликена появился как раз вовремя, чтобы помочь Резерфорду и Гейгеру в их важной новой работе: измеряя заряд α -частицы, они получили величину $9,3 \times 10^{-10}$ эл.-ст. ед. и предположили, что он должен равняться $|2e|$. Следовательно, e получается равным $4,65 \times 10^{-10}$ эл.-ст. ед. Значения e , найденные ранее Томсоном и Вильсоном, были на 30% меньше, но, согласно новым данным Милликена и Биджмена, эта величина была меньше только на 15%. Хотя работа Милликена и Биджмена представлялась наиболее точной из этих трех, Резерфорд заключил, что и она может быть улучшена, так что несоответствие исчезает. Резерфорд предположил, что невозможность адекватно учесть испарение капель такими методами приводит к завышенной оценке числа ионов (капель), и, следовательно-

но, значение e получается заниженным. В ожидании соответствующего улучшения методов у других манчестерская группа, связанная с Резерфордом, с уверенностью продолжала использовать его значение $e = 4,65 \times 10^{-10}$ эл.-ст. ед. вплоть до первых работ Бора в 1912 г.; оно «было непререкаемой истиной в Манчестере после измерений Резерфорда и Гейгера в 1908 г.»⁶⁶

После совета Резерфорда, если он действительно был необходим, стратегия Милликена стала ясной: необходимо было устранить ошибку, связанную с испарением⁶⁷. Милликен планировал работу в типичной для него последовательной манере, предполагая с помощью электрического поля держать верхний край заряженного облака неподвижным, во взвешенном состоянии, что позволит исследовать скорость его испарения. Эта работа была сделана, несомненно, в течение весны и лета 1909 г.⁶⁸, причем сперва казалось, что для нее потребуются лишь незначительные модификации существующей методики, прежде всего использование необычно большой батареи (на 10 000 вольт) для получения более сильного электрического поля, теперь направленного *против* силы тяготения.

Когда Милликен включил электрическое поле, случилось нечто такое, что позволило ему наконец собрать воедино и направить свою огромную энергию, свой талант наблюдателя и исследователя, свою способность использовать студентов, свой инстинкт распознавания фундаментальных и важных проблем и свою замечательную восприимчивость к случайностям, открывающим неожиданные возможности. С ним произошел ряд случайных событий, описанных им последовательно и откровенно в появившихся благодаря этому публикациях 1910 г., в первоначальном варианте его «Автобиографии» 1939 г. и в опубликованном ее варианте. По его словам, случай *«впервые сделал возможным проводить все измерения над одной и той же отдельной капелькой и... изучать притяжение и отталкивание, свойственные отдельному изолированному электрону»*⁶⁹.

Когда он повернул выключатель, облако не только не стало неподвижным, но немедленно и полностью рассыпалось. Сильное поле, действуя на различно (а не одинаково, как всегда предполагалось) заряженные частицы, разбросало их, и не осталось верхнего края облака, с которым следовало производить измерения. В действительно-

сти существовавшей десять лет методике измерения e по наблюдению за облаком внезапно пришел конец; я не нашел никаких сведений о том, что после этого ею кто-нибудь пользовался. Милликен писал, что исчезновение облака, «как сперва казалось, испортило мой эксперимент. Но когда я повторил опыт, то сразу же увидел, что передо мной возникло нечто гораздо более важное, чем верхний край... Потому что дальнейшие наблюдения показали, что, когда облако рассыпалось таким образом в моем сильном поле, все же *несколько отдельных капелек оставались в поле зрения*»⁷⁰ — как раз те, для которых отношение заряда к массе позволяло им уравнивать свой вес электрическим полем⁷¹.

Это был первый случай, когда экспериментатор, наблюдавший облако, сосредоточил свое внимание на отдельной заряженной капельке, а не на облаке в целом. В действительности Милликен натолкнулся на новый инструмент — очень чувствительные весы, позволявшие удерживать в поле зрения объекты с массами порядка 10^{-13} — 10^{-15} граммов. Это ознаменовало переход от метода I (падающее облако водяных капель) к методу II (уравновешенные капли воды, позднее также спирта). И хотя это было лишь промежуточной стадией перед тем, как он пришел к методу III (падающие капельки масла), его интуиция указала ему инструмент, открывший новую область эксперимента, тем более что умение делать случайные открытия еще раз помогло ему: «Мне довелось наблюдать... в тех нескольких случаях, когда не удавалось заэкранировать лучи радия [ионизирующие воздух до образования облака], что иногда одна из [уравновешенных капелек] внезапно изменяла свой заряд и начинала двигаться вверх или вниз в [электрическом] поле... Это открыло возможность измерять [позднее] с уверенностью не просто заряды отдельных капель, что я делал раньше, а заряд одного атмосферного иона путем сравнения скоростей в электрическом поле одной и той же капли до и после того, как она поймала ион»⁷².

Наблюдение капельки воды, взвешенной в электрическом поле, облегчило учет испарения и потому повысило точность измерений⁷³. Это было прямым ответом на вызов Резерфорда. Вскоре вполне логично последовала и остальная часть работы Милликена — от замены воды жидкостью с гораздо более низким давлением паров до длитель-

ных усилий по устранению или уменьшению погрешности, например путем модификации закона Стокса для маленьких капелек. Уже в первые месяцы, летом 1909 г., Милликен объявил, что *«заряды всегда изменялись — в пределах ошибки моего секундомера — на 1, 2, 3, 4 или другое целое кратное наименьшего заряда на [водяной] капельке, который я наблюдал. В этом, следовательно, заключается первое определенное, четкое, недвусмысленное доказательство того, что электричество, вне всякого сомнения, имеет дискретную структуру»*⁷⁴.

Важность этого открытия не должна отвлекать внимание от того факта, что Милликен не придумал, не изобрел эксперимент, сделавший его знаменитым, а скорее открыл его⁷⁵. По своему характеру это открытие несколько отличается, скажем, от открытия планеты Уран или Америки. Никто не сомневался в существовании отдельных капелек. Всякий мог воспользоваться уже имевшимся оборудованием за добрый десяток лет до этого, если бы ему пришла в голову мысль наблюдать каплю, а не облако. Установка, на которой в 1909 г. работал Милликен, была простым устройством, сделанным из доступных материалов; даже создание достаточно большой батареи уже давно не представляло серьезной проблемы. Не вполне только ясно, почему Томсон, Таунсенд и Вильсон наряду со многими другими прежде всего не подумали об определении электрического заряда гораздо более простым методом отдельных капелек, а не столь сложными экспериментами с облаками. Инерция воображения из-за традиции работы с облаками оказалась преодоленной, по-видимому, лишь благодаря случайности, происшедшей с Милликеном.

ЭРЕНХАФТ В 1909 г. — ПУТИ СБЛИЖАЮТСЯ

Первые сообщения Милликена об измерениях с отдельными капельками были опубликованы только в декабре 1909 г. в журнале «The Physical Review» и в феврале 1910 г. — в «Philosophical Magazine». Но прежде чем давать анализ этих статей и описание обстановки в научном сообществе в то время, когда оно впервые узнало об устном сообщении Милликена о своем открытии в августе 1909 г., я обращусь к работе, которой Эренхафт совершенно независимо занимался примерно в то же время, поскольку линии научной деятельности двух главных героев

вскоре пересекутся. Милликен пришел к определению зарядов отдельных объектов, начав со своей работы с облаками, в рамках методики исследований, развитой в Англии и в Соединенных Штатах. Между тем Эренхафт продвигался к тем же самым исследовательским проблемам методом, более характерным для работы на континенте, а именно путем создания коллоидов и наблюдений над ультрамикроскопическим броуновским движением отдельных частиц металла (например, в парах серебра вблизи электрической дуги) и сигаретного дыма. В этот период приверженность Эренхафта атомистическим взглядам была столь же ясной и недвусмысленной, как и у Милликена. Он закончил одну из своих статей 1907 г. выражением надежды, что эта работа окажет «новую поддержку молекулярно-кинетической гипотезе»⁷⁶.

Первое сообщение Эренхафта о новом методе измерения заряда на малых частицах с целью определения того, что он называл «элементарным количеством электричества», было датировано 4 марта 1909 г. и появилось в виде реферата объемом в одну страницу в «Anzeiger» Венской академии наук⁷⁷. Он объяснил, что на некоторых коллоидных металлических частицах им был замечен электрический заряд, признаком чего было их движение в *горизонтальном* электрическом поле. (Возможно, что он столкнулся с этим эффектом в своих более ранних работах по броуновскому движению.) Наблюдая за движением частиц при наличии электрического поля и без него и применяя закон Стокса для определения их масс, он мог, таким образом, измерять заряды на частицах. Короче говоря, он делал почти то же самое, что и Милликен, только не использовал вертикального электрического поля. Двумя неделями позже в более подробном сообщении⁷⁸ Эренхафт объявил о своем намерении сделать именно это; однако результаты появились только год спустя. Следовательно, в 1909 г. его метод имел очевидные недостатки. Необходимо было большее число частиц, одни из которых наблюдались в движении с горизонтальной составляющей скорости при наличии электрического поля, другие — при вертикальном движении без электрического поля; таким образом, величина e оказывалась не зарядом, определенным на индивидуальном объекте, а средней величиной. Тем не менее три статьи Эренхафта, полученные с 4 марта 1909 г. по 10 апреля 1910 г., были первыми в литературе, в кото-

рых пути и движения *отдельных заряженных частиц* наблюдались и использовались для вычисления e ⁷⁹. Больше того, значение e , полученное здесь Эренхафтом ($4,6 \times 10^{-10}$ эл.-ст. ед.)⁸⁰, гораздо ближе к резерфордовскому ($4,65 \times 10^{-10}$) и планковскому ($4,69 \times 10^{-10}$), выведенному из теории излучения черного тела, чем результат Милликена и Биджмена 1908 г., и Эренхафт не скрывал этого факта. В свете последующей дискуссии весьма прощным выглядит сделанное здесь Эренхафтом замечание, что результаты измерений Милликена 1908 г. были ниже, чем у Резерфорда, иными словами, что труды Милликена «дали слишком малые значения элементарного количества электричества».

НА ВИННИПЕГСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ, АВГУСТ 1909 г.

Известно, что при попытках добиться признания своей работы чрезвычайно выгодным является то, чтобы о ней как можно раньше было сделано сообщение перед представительной аудиторией. И здесь Милликену снова необыкновенно повезло. Он завершил измерение e методом уравновешенных водяных капель в конце лета 1909 г., непосредственно перед тем, как Британская ассоциация содействия развитию науки организовала свою 75-ю конференцию в Виннипеге (Канада). По включить его работу в напечатанную программу конференции было уже поздно⁸¹, и он до последнего момента не знал, получит ли возможность доложить свои результаты на заседании⁸². От обилия громких имен на конференции у того, кто был в известной мере новичком в науке, могла закружиться голова. Вступительный доклад прочитал председательствовавший Дж. Дж. Томсон, посвятивший его в основном обсуждению трех областей исследования: структуры электричества («Мы знаем, что отрицательное электричество состоит из элементов одного и того же вида»); эфира («Эфир—не фантастическое порождение размышлений философа; он столь же необходим нам, как воздух, которым мы дышим... Изучение этой всепроникающей субстанции, возможно, является наиболее увлекательным и важным из всех занятий физиков») и радиоактивности. Среди физиков и астрономов, чьи доклады были вынесены на пленарное заседание, были К. В. Бойс, А. С. Эддингтон, А. С. Ив, Э. Гольдштейн, Отто Ган, У. Дж. С. Локиэр,

Оливер Лодж, Персиваль Лоуэлл, А. Э. Х. Лав, Теодор Лайман, Д. К. Миллер, Дж. Г. Пойнтинг, лорд Рэлей, Э. Резерфорд, А. Шустер и Дж. Дж. Стоней⁸³.

Почва для выступления Милликена была подготовлена не только тем, что к этой области исследований внимание привлек Дж. Дж. Томсон, но и докладом Резерфорда, председательствовавшего на секции математических и физических наук, произнесенным 26 августа⁸⁴. Задачей Резерфорда было подвести итог тому, как новейшее развитие физики повысило достоверность атомистических теорий вещества и электричества. Как и в 1906 г.⁸⁵, Резерфорд не тратил сейчас много времени на прямую полемику с антиатомистами, которые были все еще активны, в особенности на континенте. Вместо этого он ограничился немногими контрдоводами, вроде того, что «отрицание атомной теории не помогало и не помогает нам делать открытия»; подвергать сомнению атомистическую теорию «совершенно неправильно»; и в последней фразе его доклада: «В свете этих и подобных прямых заключений, основанных на минимальном количестве предположений, физики имеют, как мне кажется, некоторое оправдание своего убеждения в том, что они опираются на твердую почву фактов, а не на зыбучие пески гипотез, порожденных воображением, против чего нас нередко с такой серьезностью предостерегают некоторые из наших братьев по науке»⁸⁶.

Основное внимание Резерфорда было уделено обзору достижений, благоприятных для атомистической точки зрения, которую он признавал наиболее приемлемой «для англосаксонского образа мыслей». Тем не менее в числе результатов, о которых он докладывал, были работы трех австрийцев: Экснера и Рихарда Жигмонди (определение средней скорости частиц в различных растворах с помощью расчета броуновского движения) и Эренхафта (экспериментальное доказательство броуновского движения малых частиц, взвешенных в воздухе, 1907 г.). Недавняя работа самого Резерфорда совместно с Гейгером по измерению заряда α -частиц была еще одним аргументом, «показывающим, что это излучение является, как о том свидетельствуют и другие данные, дискретным и что посредством специального электрического метода возможно зарегистрировать прохождение одной α -частицы»⁸⁷.

Как и в статье, написанной им с Гейгером годом раньше, Резерфорд цитировал здесь работы Дж. Дж. Томсона, Таунсенда, Милликена и Биджмена с облаками (сообщение Милликена об использовании отдельных капель еще не было прочитано) в качестве еще одного указания на то, что «электричество, как и вещество, по-видимому, имеет дискретную структуру». Он добавил: «Этот метод чрезвычайно интересен и важен», хотя точное определение e таким путем «сопряжено с огромными экспериментальными трудностями»⁸⁸. Резерфорд с одобрением отозвался о недавней работе Эренхафта (1909 г.) по измерению заряда на ультрамикроскопических частицах металла и охарактеризовал полученное Эренхафтом значение e вместе с результатами Резерфорда и Гейгера как «новейшие измерения весьма различными методами, которые гораздо более надежны, чем старые оценки»⁸⁹. Подразумевалось, что эти величины были более достоверны, чем данные Томсона, Таунсенда и Вильсона. И было бы неразумно отныне, заключил он, «считать, что такое совпадение [экспериментальных значений e и N , полученных различными методами] могло бы иметь место, если бы атомы и их заряды не существовали в действительности»; следовательно, сомнения относительно атомистической теории вещества «совершенно неправильны»⁹⁰.

Резерфорд выразил сожаление лишь об одном: «...что до сих пор не удалось зарегистрировать отдельный электрон по его электрическому или оптическому действию и, таким образом, непосредственно рассчитать его заряд, как для α -частиц». Именно в этом заключалось недостающее звено. Хотя Резерфорд и не мог знать о том, что это уже сделано Милликеном, однако он был оптимистичен: «...не видно причин, по которым этого нельзя было бы достичь электрическим методом». Резерфорд явно имел в виду использовать для данной цели сцинтилляции, вызванные β -лучами. Но на этом же заседании присутствовал и Милликен, ожидавший своей очереди выступить несколько дней спустя с сообщением о том, как можно подойти к регистрации отдельного электрона другим методом, а именно по его влиянию на наблюдаемое движение маленькой капельки жидкости.

Наконец подошла очередь выступить Милликену, и он явно был хорошо принят. Позднее Милликен выделил Джозефа Лармора, проявившего к его работе «чрезвычай-

ный интерес»⁹¹ и посоветовавшего ему изучить границы применимости закона Стокса, обещая при этом сделать то же самое и теоретически⁹². После своего выступления 31 августа 1909 г. Милликен мог уже считать, что до окончательного установления дискретной природы электрического заряда совсем недалеко. В самом деле эта тема была признана на самом высоком уровне как паходящаяся на переднем крае наиболее актуальных исследований; теперь даже его более ранние результаты, предшествовавшие самым последним достижениям, пользовались доверием и с уважением цитировались; они хорошо согласовывались с другими частями головоломки физической науки; и к тому же ему удалось рассказать о своем новом методе и новых результатах сразу же после того, как была подчеркнута их необходимость самим Резерфордом. Позднее он вспоминал, что его заключительное, главное усовершенствование методики, заключающееся в использовании масляных капелек для того, чтобы избежать всех трудностей, связанных с испарением, пришло ему в голову, когда он возвращался на поезде в Чикаго с Виннипегской конференции⁹³.

ПЕРВАЯ ИЗ ОСНОВНЫХ РАБОТ МИЛЛИКЕНА, ФЕВРАЛЬ 1910 г.

Мы не располагаем записью выступления Милликена в Виннипеге, но несколько недель спустя он опубликовал весьма краткое сообщение о своей работе⁹⁴, а 9 октября послал статью — первую из своих основных работ — в журнал «*Philosophical Magazine*», в котором она была опубликована в феврале 1910 г.⁹⁵ Обе эти статьи были первыми в литературе сообщениями об использовании отдельных, изолированных *капель* и о методе уравнивания полей (метод II).

Если раньше Милликен и те, кто читал его статьи, могли предполагать, что поиск величины e в основном завершен, то вскоре они обнаружили, что в действительности битва только начинается. В самом деле, две вероятные причины близящейся «битвы за электрон» можно найти уже непосредственно в статье Милликена, опубликованной в «*Philosophical Magazine*». При этом нельзя не считаться с хорошо известной ролью, которую играют чувства, связанные с приоритетными соображениями, в

действительной подоплеке научной полемики. В разделе «Наиболее вероятная величина элементарного электрического заряда» Милликен дает свое собственное, новое среднее значение $e = 4,65 \times 10^{-10}$ эл.-ст. ед. и приписывает такой же вес «всем недавним определениям e методами, менее всего вызывающими сомнения»⁹⁶: величина, полученная Планком из теории излучения ($4,69 \times 10^{-10}$), о которой с одобрением упоминал Резерфорд в Виннипеге; значение Резерфорда и Гейгера ($4,65 \times 10^{-10}$); величина, полученная Э. Регенером с помощью метода, очень близкого к резерфордовскому ($4,79 \times 10^{-10}$); и найденная Биджменом «недавно и еще не опубликованная» величина $4,67 \times 10^{-10}$, полученная в лаборатории Милликена⁹⁷. Следовательно, окончательное среднее значение e , объявляет Милликен, равно $4,69 \times 10^{-10}$ эл.-ст. ед. Таким образом, замечания, высказанные Резерфордом в 1908—1909 гг., успешно учтены. К тому же, поскольку результаты Милликена и Резерфорда столь близки, Милликен считает, что его «результаты, по-видимому, подтверждают закон Стокса для этих капель».

Однако, соглашаясь с работами указанных авторов, Милликен недвусмысленно отвергает значения e , опубликованные четырьмя другими авторами, и точно формулирует причины этого: значение Перрепа «основано на многочисленных предположениях, строгость которых сомнительна»; результаты Мориса де Бройля основываются, помимо их прочих недостатков, на перреновском N ; результаты Моро зависят от перреновского e . Милликен также уточняет, почему «неопределенности» результатов Эренхафта, «полученных методом, схожим с описанным здесь, с тем отличием, что он включает измерение скоростей, вызванных сперва действием гравитации, а затем действием электрического поля на заряженные частицы, вылетевшие из металлической дуги», делают эту работу неприемлемой для него⁹⁸, хотя он и соглашается, что «оно [среднее значение Эренхафта для e $4,6 \times 10^{-10}$] находится в очень хорошем согласии» с другими принятыми значениями.

Оговорки Милликена относительно работы Эренхафта были разумными, хотя в большей степени они кажутся таковыми лишь в ретроспективе. Если бы Милликен принял значение Эренхафта, оно работало бы в его пользу в том смысле, что среднее значение всех принятых измере-

ний *e* уменьшилось бы, приблизившись к собственному результату Милликена. Фактически же он отверг подтверждающий его результат, полученный авторитетным исследователем, использовавшим метод, более сходный с его собственным, чем методы остальных, чьи данные Милликен не отвергал. Решение Милликена было основано на его подозрениях — правдоподобных, но далеко не доказанных, — что величина, полученная Эренхафтом, обесценивается тем методом, который был использован для ее получения. Как мы скоро увидим, Милликен столь же критически относился и к недостаткам своей работы, к возможности того, что результаты его собственных измерений иногда были несуразными и обескураживающими. Однако без тщательного анализа причин он мог продолжать и продолжал придерживаться своей гипотезы и не соглашаться с ее очевидным опровержением.

По-видимому, Эренхафт заметил, что ему брошена перчатка. И, начиная с его следующей публикации, он и некоторые из его учеников посвятили себя «проблеме элементарного количества электричества». Научные результаты самого Эренхафта в течение последующих четырех лет — около дюжины статей — целиком относились к этой теме.

Что же касается Милликена, то не вызывало сомнения, что его публикация в феврале 1910 г. была уязвимой для критики. С характерными для него искренностью и обстоятельностью Милликен в разделе «Результаты» показывает, что производить измерения новым методом все еще трудно, что в этой работе он опирался в значительной мере на личные суждения и что это все же первая его большая публикация. В ней представлены наиболее важные данные пяти серий измерений с уравновешенными водяными каплями и («чтобы изменить условия») одной серии с уравновешенными каплями спирта. Указывается также наблюдатель (Милликен или Биджмен), но здесь же делается и то, что в научной литературе встречается редко: каждый из 39 наборов наблюдений сопровождается более или менее личной оценкой: «Наблюдения, отмеченные тремя звездочками, в моем лабораторном журнале обозначены как «лучшие» и относятся к тем, которые, как представляется, выполнены при наиболее благоприятных условиях. Это означает, что мы могли наблюдать за каплей достаточно долго, с тем чтобы быть вполне уверенными в ее неподвижности, что мы совершен-

но точно могли определить время прохождения капли через измерительные деления и что не было замечено запаздывания при движении ее через равные пространственные интервалы. Наблюдения с двумя звездочками обозначены в моем лабораторном журнале как «очень хорошие», с одной звездочкой — «хорошие», остальные — «удовлетворительные»⁹⁹.

Имелось два наблюдения с тремя звездочками, семь — с двумя звездочками, десять — с одной и тринадцать — остальные. Среднее значение e , полученное в каждой из семи серий (наборов наблюдений), затем умножалось на «вес» в пределах от единицы до семи, в результате чего получалось окончательное, взвешенное среднее ($e = 4,85 \times 10^{-10}$ эл.-ст. ед. в отличие от невзвешенного, обычного среднего $4,70 \times 10^{-10}$). Хотя мы и можем различить общую связь между полным числом «звездочек» в сериях и весами, присвоенными индивидуальным средним по сериям, эта связь, однако, не является ни обоснованной, ни линейной. Милликен ясно давал понять, что он может отличить хорошее измерение, когда имеет с ним дело, и не собирается пренебрегать этим знанием, даже если не вполне очевидно, как его количественно выразить и записать.

Столь же знаменательным было прямое признание Милликена, что семь наблюдений были им полностью отброшены и вообще не вошли в вычисление окончательного среднего значения e : «Во-первых, я отбросил три моих собственных очень хороших наблюдения, но выполненных при таком сочетании потенциала и положения делений, которое делает их ненадежными, несмотря на точное измерение времени. Эти измерения... не изменили бы заметным образом конечный результат, если бы были включены»¹⁰⁰. По-видимому, только внутренняя этика науки, высоко оценивающая наиболее полное сообщение о результатах, мотивировала само упоминание об этом отвергнутом наборе наблюдений. Милликен продолжает: «Во-вторых, я отверг три наблюдения, проведенные мною над неуравновешенными каплями, появление которых отмечалось при их подъеме против действия силы тяжести под влиянием электрического поля и затем при их падении между теми же самыми делениями, когда поле было выключено. Хотя все эти наблюдения дали значения e в пределах двух процентов от окончательного, их погрешности были такими, что мне пришлось бы отбро-

силь их, если бы они не согласовывались с результатами других наблюдений, вследствие чего я счел себя обязанным отбросить их и в данном случае»¹⁰¹.

Это необычное утверждение. Ничто в остальной части его статьи не подготовило нас к тому, что Милликен, как он между делом замечает, мог бы отбросить некоторые из наблюдений, если бы они «не согласовывались с результатами других наблюдений». Было ли достаточным основанием для этого то, что три таких опыта проводились с неуравновешенными каплями (что чуть спустя стало выбранным им методом)? Его замечание о том, что в данном случае отбрасывание практически не сказалось на конечных результатах, звучит успокаивающе, но нельзя упускать из виду и более общего методологического момента. Рассуждения такого рода нередки. Они часто могут быть (как и в этом случае) обоснованы благовидными аргументами, позволяющими экспериментатору утверждать, что, по его мнению, противоречащие другим наблюдения не относятся к существу дела, т. е. не связаны существенным образом с изучаемым явлением. Уже поэтому подобные рассуждения подвергают исследователя риску, состоящему, с одной стороны, в стремлении принять именно ту систему взглядов и допущений, в рамках которой такие рассуждения правдоподобны, а с другой — в том, что они позволяют ему избежать перерывов, затягивания сроков и подробных исследований, которые могут быть необходимыми для определения истинных причин аномальных наблюдений.

Здесь действует убеждение, что в принципе возможно найти такую интерпретацию, которая включила бы отброшенные наблюдения в картину природы, очерченную принятыми наблюдениями. И наоборот, имеет место также убеждение, что альтернативная картина природы, хотя в принципе и не исключена (в данном случае могли бы существовать заряды, случайным образом распределенные вокруг среднего значения e , или заряды могли бы состоять из субэлектронов либо из каких-то сгустков континуума заряда), но столь маловероятна или неприемлема, что на ее детальное опровержение не стоит даже тратить усилий. Уверенность Милликена была бесспорной. Он объявляет: «В данном методе не осталось никакой теоретической неопределенности»¹⁰², хотя и добавляет: «Разве что неопределенность, состоящая в том, насколько применим закон

Стокса для скорости падения этих капель в поле тяготения». На следующей странице даже это сомнение похоронено: «Вряд ли возможно, что закон Стокса для них не выполняется»¹⁰³.

Что касается последнего из отброшенных наблюдений, то здесь Милликен говорит просто, без всяких извинений или благовидных аргументов: «В-третьих, я отбросил одно неточное и неподтвержденное наблюдение над каплей, несомненно однократно заряженной, которое дало величину заряда на капле примерно на 30% ниже окончательного значения e . Помимо этих исключений, все данные, содержащиеся в наших лабораторных журналах, приводятся ниже»¹⁰⁴.

Таблица 1

Серия № 1 (Уравновешенные положительно заряженные капли воды). Расстояние между пластинами 0,545 см Измеренный путь падения 0,155 см			
Вольт	Время 1 промежуток	Время 2 промежуток	Наблюдатель
**2285	2,4 сек.	4,8 сек.	Милликен
2285	2,4 сек.	4,8 сек.	»
**2275	2,4 сек.	4,8 сек.	Биджмен
***2325	2,4 сек.	4,8 сек.	Милликен
2325	2,6 сек.	4,8 сек.	»
*2325	2,2 сек.	4,8 сек.	»
**2365	2,4 сек.	4,8 сек.	»
2312	2,4	4,8	
Среднее время на 0,155 см = 4,8 сек.			
$e_3 = 3,422 \times 10^{-9} \times \frac{980,3}{14,14} \times \left(\frac{0,155}{4,8} \right)^{\frac{3}{2}}$ $= 13,77 \times 10^{-10}$ $\therefore e = 13,85 \times 10^{-10} \div 3 = 4,59 \times 10^{-10}$			

Данные, представленные в шести таблицах, одна из которых приводится здесь (см. табл. 1), также вызывают вопросы. Над сколькими отдельными каплями проводились эти наблюдения? В каждой из шести серий наблюдений могло быть использовано столько же капелек, сколько было наблюдений. Почему же тогда данные (напряжения, времена) по всем каплям в каждой серии были просумми-

рованы и усреднены для получения лишь одного предварительного среднего значения e , которое затем получало единичный вес при окончательном усреднении для получения конечного значения e ? Насколько может быть уверен читатель, что одно и то же целое число есть правильный делитель, пригодный для всех данных в пределах одной серии (например, $n=3$ для табл. 1), и вообще каким образом эти данные были собраны в серии? Наконец, поскольку основной задачей было найти e , что мешало Милликену взять более мощную батарею или меньшее расстояние между пластинами конденсатора и получить надежные данные на однократно заряженных капельках, не говоря уже о том, что можно было бы и проверить, существуют ли дробные заряды?

К сожалению, лабораторные журналы, содержащие материалы работы Милликена 1909 г., не сохранились, и мы не можем «подсмотреть сквозь замочную скважину», что происходило в его лаборатории. Но вскоре нам повезет больше, так как Милликен очень энергично продолжал свою работу. Она все больше рассматривалась как весьма ценная научная работа, о чем свидетельствует ее плодотворность. Например, полученное им в 1909 г. значение e было принято в эпохальной статье Нильса Бора об атоме водорода 1913 г.¹⁰⁵, и метод наблюдений Милликена оказался непосредственно применим для прямо связанной с ним работы его ученика Г. Флетчера по измерению N и, следовательно, e с помощью наблюдений броуновского движения¹⁰⁶.

В период с осени 1909 г. до весны 1910 г. методика измерений и расчетов Милликена была существенно усовершенствована (метод III, рассматриваемый ниже) путем работы не с уравновешенными водяными каплями, а с падающими и поднимающимися каплями масла и вычисления величины элементарного заряда по каждой серии наблюдений данной капли. О своем новом методе Милликен впервые доложил Американскому физическому обществу 23 апреля 1910 г., о чем не было известно Эренхафту¹⁰⁷. Однако Эренхафт тем временем выступил с весьма рискованным заявлением.

ПЕРВАЯ АТАКА ЭРЕНХАФТА

Она началась с сообщения на сессии Венской академии 21 апреля 1910 г.¹⁰⁸ Эренхафт молчал в течение года, но

сейчас у него были поразительные новости. Он использовал горизонтальный конденсатор с вертикальным электрическим полем, достаточно сильным, чтобы заставить частицы подниматься против действия силы тяжести (устройство, аналогичное тому, о котором коротко докладывал Милликен немного спустя в работе, прочитанной на собрании Американского физического общества 23 апреля 1910 г.), и изучал платиновые и серебряные частицы, возникшие в электрической дуге. Эренхафт сообщил о более чем 300 измерениях, давших замечательный новый результат: частицы могут быть не только однократно или двукратно заряженными, но также иметь заряды «меньшие и промежуточные» между этими величинами. Двадцать два измерения заряда, приведенные в работе Эренхафта, лежат в диапазоне от $7,53 \times 10^{-10}$ эл.-ст. ед. до $1,38 \times 10^{-10}$ эл.-ст. ед. — примерно до одной трети величины элементарного заряда, полученной им в предыдущих измерениях. Эренхафт заключил, что эти находки нельзя отнести просто за счет неадекватности метода. Скорее такие величины существуют «в природе». Если «теория заранее предполагает существование» неделимого кванта электричества, это означает, что величина последнего, таким образом, должна «упасть значительно ниже» принимавшегося ранее значения. Поэтому всем, кто считал, что e есть единица заряда, был брошен встречный вызов, поскольку такой взгляд казался ничем не обоснованным ни теоретически, ни экспериментально. Как гром с ясного неба на сцене появился субэлектрон.

За сообщением Эренхафта 21 апреля 1910 г.¹⁰⁹ последовал его доклад, прочитанный Венской академии 12 мая 1910 г.¹¹⁰, в котором он ввел термин «субэлектрон» и объявил, что его результаты указывают на отсутствие в природе неделимых количеств электрического заряда на уровне 1×10^{-10} эл.-ст. ед. Его субэлектроны обнаружили способность накапливаться; например, он сообщает, что полный заряд частиц золота изменялся непрерывным образом от 5×10^{-11} эл.-ст. ед. до скопления величиной в $1,75 \times 10^{-10}$ эл.-ст. ед., т. е. до одной трети обычного заряда электрона. Хотя все его наблюдения производились с очень малыми частицами, наблюдаемыми в ультрамикроскоп, он не видел причины отказываться от классической формы закона Стокса (что, во всяком случае, еще уменьшило бы истинную величину заряда) или тревожиться по

поводу броуновского движения, хотя оно и вносило неопределенность в измерения времени. Больше того, он вновь предполагал, что плотность частиц металла, образовавшихся в электрической дуге, равнялась плотности материала, из которого сделаны электроды¹¹¹.

Однако наиболее замечательным является заключение, которое все с большей силой подчеркивается по мере возрастания числа и объема статей Эренхафта и его сотрудников: их эксперименты не позволяют им продолжать «придерживаться гипотезы, лежащей в основании электронной теории», а именно представления о неделимом

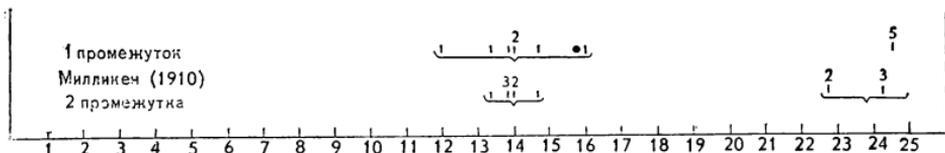


Рис. 11. Часть проведенного Феликсом Эренхафтом анализа данных Милликена о зарядах q на капельках («Sitzungsberichte Akad. Wiss.» Vienna, N 110).

электроне¹¹². Большой разброс значений e , полученных различными исследователями с помощью разных методов, следует, по их словам, считать свидетельством того, что здесь проявляется закон природы. Эти вариации полного заряда существуют «в природе».

Если Милликен и другие предполагали, что данные Эренхафта в принципе можно интерпретировать, не отказываясь от неделимого электрона, то они могли испытать и испытывали некоторое замешательство, когда Эренхафт обратился к данным Милликена, опубликованным в журнале «Philosophical Magazine» в 1910 г., по уравновешенным каплям воды и спирта. Он подверг эти данные уничтожающей критике¹¹³, обратив их против Милликена. Эренхафт пересчитал заряд на каждой капле отдельно по данным Милликена вместо того, чтобы вслед за Милликеном объединять несколько измерений для получения среднего e с помощью усреднения значений напряжения и т. п. для различных капель. В результате получился большой разброс в значениях зарядов капель — от $8,60 \times 10^{-10}$ до $29,82 \times 10^{-10}$ эл.-ст. ед. То, что каждое из этих значений является целым кратным одного элементарного заряда,

теперь вовсе не казалось самоочевидным (см. рис. 11) ¹¹⁴. Скорее представлялось, что результаты одних и тех же измерений можно использовать в подтверждение двух диаметрально противоположных теорий, отстаиваемых с полной убежденностью двумя их хорошо подготовленными сторонниками во главе своих сотрудников. Однако вначале у них не имелось даже сколько-нибудь убедительных данных из независимых источников ¹¹⁵.

ЭКСПЕРИМЕНТ С КАПЛЯМИ МАСЛА, 1910 г. — «МЕТОД III»

К счастью для Миллиkena, нападки Эренхаффа в середине 1910 г. вскоре оказались спорными — особенно после публикации новых результатов Миллиkena, полученных его же новым методом. Относительно принятия им метода масляных капель и достигнутых с помощью этого метода первых успехов Милликен оставил весьма обширную документацию ¹¹⁶. Но для нас здесь представляет интерес истинное продвижение, достигнутое Милликеном по сравнению с более ранними работами его самого и других.

Во второй из основных работ в его научной карьере, опубликованной в журнале «Science» в сентябре 1910 г. ¹¹⁷, его изложение было едва ли не эйфорическим. Ему удалось измерять отдельно как обусловленные трением заряды на масляных каплях, так и добавочные заряды, которые капли могли получить от содержащихся в атмосфере ионов в процессе своего движения. При этом заряды обоих типов оказались одинаково дискретными, «точными кратными одного определенного, элементарного электрического заряда» ¹¹⁸. Он гордился тем, что мог «зафиксировать на маленькой капельке масла и держать под наблюдением неопределенно долгое время один-единственный атмосферный ион или любое число таких ионов от 1 до 150». Его метод свободен от «любых сомнительных теоретических предположений», а точность измерения e ограничивается лишь той точностью, с которой известна вязкость воздуха (μ или η). Он обнаружил, что закон Стокса нарушается для очень малых сфер, и определил поправку. Эти эксперименты подтвердили развитое много лет назад представление о том, что «электрический заряд вместо того, чтобы однородно растекаться по заряженной поверхности, имеет четко выраженную зернистую струк-

туру и в действительности состоит из определенного числа частиц, или атомов, электричества, совершенно одинаковых, рассыпанных по поверхности заряженного тела». В самом деле, теперь Милликен считал, что «выводы настолько ясно и неизбежно вытекают из данных эксперимента, что любой прохожий с улицы легко может понять наш метод и оценить результаты».

Столь ярко выраженная уверенность в результатах не меньшее впечатление должна была произвести и на ученых. Милликен сообщает, что, работая вместе с Флетчером с декабря 1909 г. по май 1910 г. с капельками масла, ртути и глицерина — «от одной до двух сотен» капель всего, они «обнаружили, что во всех случаях первоначальный заряд на капле есть целое кратное минимального заряда, который, как мы нашли, капля может поймать в воздухе». Число наблюдавшихся изменений заряда лежало между 1000 и 2000, и «не было ни единого случая изменения, не представлявшего собой появление на капле одного строго неизменного количества электричества или небольшого точного кратного этой величины»¹¹⁹.

Интересно, как поступал со своими данными Милликен. Его окончательное значение e есть среднее из 27 измерений e на таком же количестве отдельных капелек, выбранных из большего числа «изучавшихся на протяжении 47 дней подряд». Три другие капли «были исключены, [потому что] все они давали значение e , на два—четыре процента заниженное» по сравнению с распределением значений для других капель. «Естественное» предположение относительно этих трех капель состоит в том, что каждая из них могла быть «двумя каплями, слившимися вместе». Во всяком случае, Милликен добавляет: «После устранения пыли мы обнаружили, что не более десятой части капель были аномальными». Как показывает контекст, слово «аномальные» означает, что найденный заряд e капли не менее чем на 4% отклоняется от кривой, указывающей на другое значение¹²⁰. Тем не менее еще десять капель — четыре наиболее медленных и шесть наиболее быстрых, — исследовавшиеся в этот период, также были исключены из окончательного усреднения (в статье Милликена, опубликованной в журнале «Science» в 1910 г., до того, как он получил свое «окончательное среднее значение e »). Хотя эти десять капель и не изменили бы заметным образом полученное среднее значение, вероятная

ошибка каждого из этих измерений неизбежно была бы гораздо выше, чем в диапазоне средних скоростей¹²¹.

ПУБЛИКАЦИЯ 1913 Г. — КАПЛЯ № 41

Теперь, после того как мы узнали, каким образом Милликен использовал и обрабатывал данные в своих ранее опубликованных статьях, мы можем обратиться к последней, наиболее зрелой из его основных работ периода 1909—1913 гг. — к его публикации в «Physical Review» в августе 1913 г. «Об элементарном электрическом заряде и числе Авогадро»¹²². По тому времени это был наиболее представительный вариант эксперимента с каплями масла. И хотя Милликен еще долго в течение последующих лет продолжал вносить усовершенствования, все основные элементы были уже собраны: новая оптическая система, хронометр (с точностью до 0,001 сек), стабилизация температуры с точностью до 0,02°C, более тщательно откалиброванный вольтметр, уточненное значение μ , возможность в широких пределах менять давление газа в камере, где производятся наблюдения. В результате он мог сообщить, что «максимальное отклонение от среднего значения, имслющееся в таблице [значений e , определенных для 59 капель], достигает 0,5%, и вероятная ошибка окончательного среднего значения, вычисленная обычным образом, составляет 16 из 61 000»¹²³.

Сейчас мы приближаемся к «замочной скважине», о которой говорил Медавар, поскольку Милликен в этой публикации щедро предоставляет свои данные. Милликен приводит таблицы, содержащие результаты измерений, и примеры вычислений для 16 капель из множества наблюдавшихся им. Типичный пример — «Капля № 41» в его таблице XV. Таблица воспроизведена здесь (см. табл. 2). Милликен также дает в своей таблице XX «Общую сводку результатов, полученных на всех 58 различных каплях, с которыми были проведены полные серии измерений, подобные представленной выше [имеется в виду таблица данных по одной капле], на протяжении 60 дней». И вновь, показав, что лишь одна из этих 58 капель дает для e результат, который отклоняется «на целые 0,5%» от других¹²⁴, Милликен выделяет курсивом, не повторяя предшествовавших оговорок, слова: «Следует также отметить, что эти капли не являются избранной группой, а представ-

ляют все капли, с которыми проводились эксперименты на протяжении 60 дней, в течение которых аппаратура несколько раз выключалась и настраивалась заново». В своей книге «Электрон» Милликен приводит ту же фразу и все данные из статьи 1913 г. в главе 5 «Точное определение e ». Для большей выразительности он добавляет: «Эти [58] капель представляют собой все наблюдавшиеся в течение 60 дней, без единого исключения»¹²⁵.

ВОЗВРАЩЕНИЕ К КАПЛЕ № 41 —
ЛАБОРАТОРНЫЕ ЖУРНАЛЫ 1911—1912 гг.

Все эти публикации и сама полемика приобретают еще большее значение в свете того счастливого обстоятельства, что удалось найти два лабораторных журнала за 1911 и 1912 гг., содержащих данные наблюдений и некоторое редактирование их, на которых основывается статья Милликена 1913 г. в журнале «Physical Review»¹²⁶. Первый журнал начинается с пункта, датированного 28 октября 1911 г.: «Плотность часового масла, Р. Э. Милликен»¹²⁷, и закапчивается примерно через 110 страниц на опыте, относящемся к 11 марта 1912 г. На каждой странице, как правило, описывается эксперимент с одной каплей масла, наблюдаемой в процессе изменения заряда, связанного с присоединением ионов из воздуха. Некоторые из экспериментов — продолжительные и тщательные, меньше — коротких, совсем мало — быстро прерванных. Второй журнал открывается опытом 13 марта 1912 г., а последний опыт, около 65 страниц далее, датирован 16 апреля 1912 г. Снова на странице обычно один эксперимент. Всего можно выделить около 140 опытов на протяжении примерно шести месяцев.

Здесь в длинных сериях опытов, следующих один за другим, энергия Милликена особенно бросается в глаза. Спор о существовании электрона в полном разгаре, и на карту поставлено многое. Хотя работа все еще сопряжена с трудностями, но Милликен и его сотрудники больше не новички. Милликен в той или иной форме ведет эксперименты с каплями уже около пяти лет. Методика, использованная в 1911—1912 гг., — это уже не изучение какой-то незнакомой области.

Прослеживая час за часом детали анализа, мы обнаруживаем весьма тонкие детали и остроумные решения.

Капля № 41

t_g	t_F	$\frac{1}{t_F}$	1	$\frac{1}{n'} \left(\frac{1}{t_F'} - \frac{1}{t_F} \right)$	2	$\frac{1}{n} \left(\frac{1}{t_g} + \frac{1}{t_F} \right)$	
24,016	42,188] 42,078] 42,098] 69,900]	0,02369	1	0,009380	8	0,009336	
24,142		0,01431		0,009389		6	0,009328
24,130		0,004921		0,009255		5	0,009316
24,070		0,04194				9	0,009286
24,000	203,200	0,02326	1	0,009260	7	0,009276	
24,030	23,844] 30,606] 42,800] 42,944]	0,01400	2	0,009295	6	0,009277	
24,046		0,03259				0,009282	
24,028							
23,968							
24,018	71,400						
23,770	30,652]						
23,882							
24,008				0,009314		0,009301	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	

$V_i = 5065^1$

$V_f = 5059^1$

$t = 23,05^\circ \text{C}^2$

$p = 19,01 \text{ cm}^3$

$v_1 = 0,04253^4$

$a = 0,0001816^5$

$1/a = 0,1394^6$

$e_1 = 6,697 \times 10^{-10}^7$

(1) В колонке t_g — время (в сек.) прохождения капель под действием силы тяжести расстояния 10,21 мм; двенадцать последовательных измерений и среднее значение [$t_g \in (1/v_1)$].

(5) В случае t_F — время подъема, когда (заряженная) капля возвращается после своего падения благодаря приложенному электрическому полю $[t_F \propto (1/v_2)]$.

(3) В колонке $1/t_F$ — величины, обратные временам, для некоторых измерений t_F , следовательно, пропорциональные v_2 .

(4) В колонке n' — изменение заряда (в единицах e) между последовательными подъемами (t'_F следует за t_F) из-за захвата каплей ионов газа во время падения. Поскольку

$$i_{\text{ionic}} \propto \left(\frac{v'_2 - v_2}{n'} \right),$$

n' пропорционально $(1/t'_F) - (1/t_F)$. В каждом отдельном случае n' подбирается, исходя из предположения, что это — небольшое целое число, которое обеспечивает постоянное значение произведения $(1/n') \cdot [(1/t'_F) - (1/t_F)]$ в течение всего времени эксперимента с данной каплей.

(5) В колонке значений e_{ionic} представлены (до внесения поправок) значения элементарного заряда ионов газа, захваченных во время пяти изменений заряда.

(6) и (7) Колонки, в которых показано n элементарных зарядов на капле, появившихся сперва благодаря трению в процессе создания капли (с помощью распылителя). Так как $e_{\text{frict}} \propto (v_1 + v_2)/n$, n подбирается аналогично (4) и (5), но теперь v_1 определяется по $(1/t_g)$, а v_2 — по $(1/t_F)$ для подъема, непосредственно следующего за измерением t_g при падении.

З а м е ч а н и е: основным моментом является определение e_{ionic} (5) и e_{frict} (7) и совпадение этих двух величин. Затем они вместе используются для нахождения значения e_1 и — после учета поправок к закону Стокса — значения e . См. прим. 123.

¹ Начальная и конечная разность потенциалов батарей.

² Температура.

³ Давление в камере.

⁴ (См/сек), средняя скорость падения без электрического поля.

⁵ Вычисленный радиус капли масла.

⁶ Отношение средней длины свободного пробега к радиусу (опечатка: должно быть 0,2073 в соответствии с табл. XX Милликена).

⁷ Вычисленное среднее значение элементарного заряда до учета поправок к закону Стокса (опечатка: должно быть $6,110 \times 10^{-10}$ в соответствии с табл. XX Милликена).

(В этой связи вспоминается то определение науки, которое дал ей Генри А. Мюррей: «...Наука — это творческий результат соприкосновения души ученого и события, на которое направлено его внимание».)

На рис. 12¹ представлены данные из второго лабораторного журнала, полученные на той стадии, когда работа продвинулась уже далеко, — всего за месяц до завершения серий, составивших статью 1913 г. Левая страница — это типичный пример, выбранный здесь потому, что она является первоначальной записью, на которой основана одна из опубликованных таблиц данных (именно — капля № 41, согласно более поздней нумерации). Значит, мы рассматриваем эксперимент с одной из 58 капель, на которые опирается окончательное вычисление e Милликеном в статье 1913 г. ($4,774 \pm 0,009 \times 10^{-10}$ эл.-ст. ед.) — значение, которого Милликен мог придерживаться в течение дюжины последующих лет, несмотря на все усовершенствования техники.

Каждую часть этой страницы легко соотнести с соответствующим опубликованным вариантом, который представлен в табл. 2. Так, первая колонка (G) эквивалентна t_g , а следующая колонка есть t_F ; обе — для падения капли на все расстояние 10,21 мм, иногда на половину этого расстояния. Справа сверху — показания температуры, давления и разностей потенциалов (явно для различных секций батареи с учетом градуировочной поправки, которая позднее, перед публикацией, по-видимому, была пересмотрена). Подробные вычисления вручную с помощью логарифмов в правом нижнем углу также можно проследить вплоть до определения e . В журналах встречаются изменения, внесенные по ходу окончательных вычислений перед публикацией, иногда по нескольку на одной странице, разными чернилами и карандашом; на некоторых страницах имеются указания, что пересчет производился летом 1912 г.

Ключевым моментом работы Милликена является проходимое им сравнение двух наборов чисел для каждого

Рис. 12. Записи о первом и втором опытах в пятницу 15 марта 1912 г. из лабораторного журнала Милликена, любезно предоставленного архивом Калифорнийского технологического института.

опыта. В первом из опытов на рис. 12 один из наборов дается под заголовком «Разности» («Differences») (семь чисел, начиная с [0,00] 933). Другой расположен чуть правее (восемь чисел, с вычисленным их средним, равным [0,00] 9301). Каждое число в первой из этих двух колонок — результат вычисления величины, пропорциональной элементарному заряду иона, e_{ionic} , то есть

$$\frac{1}{n'} \left(\frac{1}{t'_F} - \frac{1}{t_F} \right),$$

получаемой точно так же, как и в табл. 2. Например, число 0,009257 — это одна четверть разности между обратными временами двух последовательных подъемов

$$\left(\frac{1}{t'_F} = \frac{1}{23,84 \text{ сек}}, \quad \frac{1}{t_F} = \frac{1}{203,2 \text{ сек}} \right);$$

предполагается, что $n' = 4$, т. е. между измерениями t_F и t'_F были присоединены четыре единицы заряда.

Аналогичным образом числа во второй колонке относятся к вычислению величины, пропорциональной элементарному заряду, возникающему из-за трения, e_{frict} , то есть

$$\frac{1}{n} \left(\frac{1}{t_g} + \frac{1}{t_F} \right)$$

снова, как и в табл. 2. Например, $1/t_g$ здесь есть $1/24,01$ сек (или $0,04166 \text{ сек}^{-1}$) для всего эксперимента. К этому добавляются последовательные значения $1/t_F$, вычисляемые, как и выше, но каждый раз снова делается предположение, что имеется некоторое целое кратное (8, 6, 7, 8...) элементарного заряда.

Оба предположения становятся правдоподобными, когда разброс данных в каждой из двух колонок мал и когда средние значения, полученные в каждой из двух колонок столь различными способами, оказываются тем не менее почти равными друг другу. Именно это и имеет здесь место: 0,009311 и 0,009301 отличаются всего лишь примерно на 0,1%. (Табл. 2 показывает, что повторный расчет перед публикацией вместо первой из этих величин дал 0,009314; тем не менее согласие осталось хорошим.)

Милликен выразил свое удовлетворение в левом нижнем углу. Он написал: «Прелесть. Опубликовать это непременно, прелестно!»

Снятие показаний занимало около получаса. Как свидетельствует верхняя часть правой страницы (рис. 12), тринадцатую минутой позже Милликен был готов к новому опыту. С присущими ему энергией и опытом он мог использовать эти минуты между экспериментами для грубых предварительных расчетов по своим данным (хотя иногда в них и встречались небольшие арифметические ошибки), в дальнейшем пересматриваемых.

Чтобы увидеть, как проходил следующий опыт, рассмотрим вкратце правую страницу нашего рисунка. Как видно, не вполне удачно. Теперь капля была тяжелее (t_g меньше). Она не изменяла сколько-нибудь значительно своего заряда между подъемами и, по-видимому, потеряла его быстрее, чем хотелось бы, оставив только четыре «разности». Но хуже всего то, что средние значения e_{ionic} (0,006992) и e_{frict} (около 0,00692) расходятся примерно на 1%. Милликен откровенно замечает: «*Большая ошибка, не использовать*» и добавляет (очевидно, позднее): «С этим можно поработать, вероятно, все о'кэй, но это [?] неважно. Поработаем, если пайдем время, 22 авг.». Это был неудачный опыт *или, точнее, вообще не опыт*. И, вместо того чтобы терять время на его дальнейшее изучение, он начал снимать показания для новой капли (они записаны на следующей странице журнала). Капля снова оказалась тяжелой, и вначале было сомнительно, можно ли считать эти данные имеющими смысл. Милликен заметил на полях: «*Можно опустить из-за расхождений...*», но затем вычеркнул это замечание. В конце концов эти данные под названием «Капля № 39» вошли в окончательные опубликованные результаты.

Вторая группа наблюдений, сделанных 15 марта 1912 г., была проведена отнюдь не с самой худшей каплей, впрочем, как и первая (№ 41), которая также не была наилучшей в серии. Но интересно, что сказал бы Эренхафт, если бы он получил такие данные или имел доступ к этому лабораторному журналу. Вместо того чтобы пребречь вторым наблюдением и многими другими, подобными ему из содержащихся в двух журналах, разделившими ту же судьбу, он, скорее всего, использовал бы их все. Например, данные на правой странице представляются весьма разумными, *если* считать, что минимальный наблюдаемый заряд равен не e , а скажем, одной десятой e . Следовательно, если значения сумм ($1/t_g + 1/t_F$),

приведенные в правом верхнем углу страницы, такие, как 0,075872, 0,09001, 0,09723, делить не на целые числа 11, 13 и 14, а на 10,9, 12,9 и 13,9, то величина, пропорциональная e_{frict} , окажется почти точно равной среднему значению 0,006992, полученному ранее для ионного заряда (под заголовком «Разности»). С точки зрения Эренхафта, именно предположение о целых кратных e заставляет идти дальше, предполагая, без всяких доказательств, наличие значительной «ошибки», что в свою очередь ведет молчаливому отбрасыванию противоречащих этому предположению показаний, вместо использования их для подтверждения возможности того, что по крайней мере в этом опыте квант электрического заряда кажется равным $1/10$ от величины e .

Поддержка представлений о субэлектронах не вписывалась в физику того времени. С точки зрения Эренхафта, именно по этой причине такое представление следовало рассматривать как заманчивую возможность и вызов. Напротив, для Милликена подобная интерпретация данных наблюдений заставила бы отказаться от фундаментального свойства природы (дискретного характера e), которое явно казалось привлекательным. Безусловно, оно, конечно, не проявлялось в каждом из этих опытов, но этого и следовало ожидать. В реальной жизни наблюдения такого рода сопряжены с различными трудностями, причем одни из них менее определены, чем другие; но есть уверенность в том, что в конце концов найдутся веские причины, которыми их можно объяснить и затем либо отбросить, либо использовать. Цитируем некоторые записи о трудностях, содержащиеся в лабораторных журналах Милликена и обычно стоящие рядом с записями «неудачных» опытов: упало напряжение батарей; в манометр попал пузырек воздуха; часто мешает конвекция; следует более точно фиксировать расстояние; ошибки секундомера; не в порядке распылитель.

В то же время у Милликена оставалось вполне достаточное количество материала наблюдений — 58 капель из примерно 140, чтобы результат выглядел разумным, тем более что итоговое значение было в очень хорошем согласии с другими надежно установленными и неоспоримыми фактами, такими, как измерение Резерфордом заряда α -частицы. В самом деле, Милликен мог бы возразить Эренхафту, что использование *всех* показаний без исклю-

чения оправданно разве только для какой-то рутинной работы, когда вероятность того, что ложная информация «влетит через открытое окно», пренебрежительно мала. А здесь был отнюдь не тот случай. Так, в конце долгого опыта 20 декабря 1911 г. Милликена несколько удивило значение e , выходящее далеко за пределы ожидаемой ошибки. Зная, что иногда в камере, где производятся наблюдения, имеется, например, пыль, он спокойно объясняет для себя на полях расходящийся результат: $e = 4,98$ — значит, это могла быть не масляная капля.

Это замечание вновь иллюстрирует, что результаты Милликена и Эренхафта были весьма чувствительны к обработке полученных данных, и прежде всего к решению, какой аспект постановки эксперимента следует считать существенным или даже решающим, какие данные являются аномальными или подозрительными и какие из них можно с разумными основаниями отбросить. Как это обычно происходит до включения результатов исследований в каноническое знание, отбор существенной части опыта из в принципе бесконечного материала направляется гипотезой, которая в свою очередь оправдывается в основном успехом в работе с этой «существенной» частью и основным предположением, помогающим сосредоточить на ней внимание¹²⁸. Вспоминаются два других исторических примера, когда поразительно новые и простые результаты, как показали недавние исследования, было далеко не просто заметить или вывести с помощью имевшихся в то время данных: закон кратных отношений в химических реакциях Джона Дальтона и простые численные соотношения, полученные Грегором Менделем из его ботанических опытов.

Конечно, Милликену не следовало беспокоиться, что выпадающими из общего ряда результатами в его лабораторных журналах мог бы воспользоваться Эренхафт. Они относились к сфере личного научного творчества, где принимается множество решений до того, как работа полностью закончена. Поэтому Милликен оценивал свои данные и указывал на возможность их дальнейшего использования, руководствуясь как теорией относительно природы электрического заряда, так и ощущением качества или веса каждого данного опыта. Именно это он сделал в первой из своих основных статей, до того как научился не выставлять «звездочки» при данных на всеобщее обозре-

ние. Такая практика знакома всякому, кто занимался фундаментальными экспериментальными исследованиями: в ходе опыта по некоторым признакам можно узнать, до какой степени те или иные показания в действительности отвечают существу наблюдаемого явления.

Представляется правдоподобным, что после почти каждого опыта тут же делалось предварительное вычисление e и часто приводилась резюмирующая оценка. Вот некоторые из восклицаний Милликена по ходу работы, записанные в лабораторных журналах рядом с результатами наблюдений и вычислениями: «Очень мало. Что-то неверно» [18 ноября 1911 г.]. «Очень мало. Что-то неверно» [20 ноября 1911 г.]. «Это почти в точности верно и лучшее из всего, что у меня было!!!» [20 декабря 1911 г.]. «Возможно, двойная капля» [26 января 1912 г.]. «Это, по-видимому, ясно показывает, что поле не вполне однородно, по краям сильнее, чем в середине» [27 января 1912 г.]. «Хорошая, потому что очень маленькая» [3 февраля 1912 г.]. «В точности верно» [3 февраля 1912 г.]. «Что-то не так...» [13 февраля 1912 г.]. «Плохое согласие. Не пойдет» [17 февраля 1912 г.]. «Опубликовать это. Прелесть...» [24 февраля 1912 г.]. «Прелесть, одна из лучших» [27 февраля 1912 г.]. «Возможно». «Опубликовать» [27 февраля 1912 г.]. «Превосходно» [1 марта 1912 г.]. «Эта капля дрожала, как несимметричная» [2 марта 1912 г.].

Так и продолжается, причем слово «прелесть» появляется все чаще по мере продвижения работы, и в течение последней недели работы или около этого запись заканчивается так: «Не получаются разности» [8 апреля 1912 г.]. «Прелесть. Темнер. и услов. превосх. нет конвекции. Опубликовать» [8 апреля 1912 г.]. «Опубликовать. Прелесть» [10 апреля 1912 г.]. «Прелесть. Опубликовать» [Зачеркнуто и заменено на] «...Проявилось броуновское» [10 апреля 1912 г.]. «Превосходно. Опубликовать» [11 апреля 1912 г.]. «Одна из самых лучших» [12 апреля 1912 г.]. «Лучшая со всех точек зрения» [13 апреля 1912 г.]. «Красиво показывает согласие между двумя методами получения $v_1 + v_2$. Обязательно опубликовать» [15 апреля 1912 г.]. «Опубликовать. Прекрасно показывает два метода получения v . Нет. Что-то не так с тепловой».

Наблюдая Милликена за работой, можно различить две в значительной мере противоположные тенденции. Одна — стандартное, классическое поведение, заключающееся в стремлении к информации, настолько безличной или объективной, насколько это возможно. Как учат любого новичка, кладбище пауки усеяно теми, кто при получении данных забывал о *приостановке доверия*. Но есть и другая сторона медали — стратегия; без нее исследование нового не сможет преодолеть тех первых препятствий, истинная природа которых может быть подробно определена только по завершении исследования. Для понимания этой стороны поведения исследователя я ввожу понятие *приостановки недоверия*, т. е. способности в ранний период построения или подтверждения теории воздерживаться от окончательных суждений по поводу достоверности явных опровержений многообещающей гипотезы¹²⁹.

Эта сторона деятельности научного воображения — одна из основных ее черт, не противоречащая другой точке зрения, проверяемой в иных обстоятельствах, а именно мнению, что опровержение есть основной долг ученого. Хорошо известная формулировка Карла Поппера гласит: «Я пришел... к заключению, что научный подход есть критический подход, который стремится не к подтверждению, а к решающей проверке — к проверке, которая может *опровергнуть* проверяемую теорию...»¹³⁰. Однако независимо от того, является ли эта концепция адекватной для анализа научной работы на ее более поздних стадиях, когда она становится предметом всеобщего обсуждения, поразительная черта работы Милликена в ее развитии состоит в том, что она демонстрирует механизм укрепления убежденности в справедливости гипотезы, действующий достаточно долго для того, чтобы помочь этой гипотезе сохраниться до более поздней стадии проверки в публичной дискуссии.

Если бы единственным научным достижением Милликена был эксперимент с каплями масла, он мог бы быть уязвим для обвинения в том, что ему, мол, просто повезло угадать результат по имеющимся данным или что он оказался удачлив в своем упрямстве. Но подозрения такого рода рассеиваются в свете его последующей, возможно, наиболее признанной работы — продолжения исследова-

ний фотоэлектрического эффекта¹³¹. Здесь он начал работать с неверными исходными предпосылками, но сумел в конце концов от них освободиться. Милликен взялся за эту работу, проявив те же энергию и упорство, какие отличали его предшествующую работу о дискретности заряда электрона, однако исходя из обратного предположения. С той же естественностью, с какой он принимал дискретность в качестве основной гипотезы об электричестве, черпая свою уверенность из того, что это старая и здравая идея, он в течение долгого времени относился к применению квантовой гипотезы к энергии света как к неприемлемой новинке. Милликен писал, что «дерзкая, если не сказать безрассудная», гипотеза Эйнштейна «кажется несовместимой с самим понятием электромагнитного возмущения»; она «развенчивается безусловно установленным фактом интерференции»¹³². Принимая Нобелевскую премию, Милликен сообщил: «После десяти лет исследований и изменений, узнавания, а порой и заблуждений... эта работа вылилась вопреки моим собственным ожиданиям в первое прямое экспериментальное доказательство в 1914 г. точной истинности... уравнения Эйнштейна»¹³³.

К ИСХОДНЫМ ПРЕДПОСЫЛКАМ ЭРЕНХАФТА

Способность использовать, а если необходимо то и преодолевать свои исходные предпосылки, определяет основное различие между Милликеном и Эренхафтом в период около 1910 г. Я еще раз обращусь к Эренхафту, с тем чтобы попытаться понять *его* исходные предпосылки и мотивации. Конечно, то, что лабораторные журналы его группы не сохранились, затрудняет более полное исследование, которого он заслуживает, но многое можно восстановить по опубликованным материалам. Из всего множества статей, выпущенных Венскими лабораториями, публикация Эренхафта в журнале «*Physikalische Zeitschrift*» в 1910 г. дает особенно важные материалы¹³⁴. Основные данные в этом случае вновь поддерживают его утверждение, что, если неделимый атом электричества существует, «он, по-видимому, меньше чем 1×10^{-10} эл.-ст. ед». (или не существует вообще). Эренхафт представляет набор из 1000 отдельных измерений на частицах тумана, созданного продувкой влажного воздуха через белый фос-

фор. Измерения были взяты из предыдущей публикации Карла Прибрама, который предпринял эти измерения явно по просьбе Эренхафта и использовал предложенный ему метод.

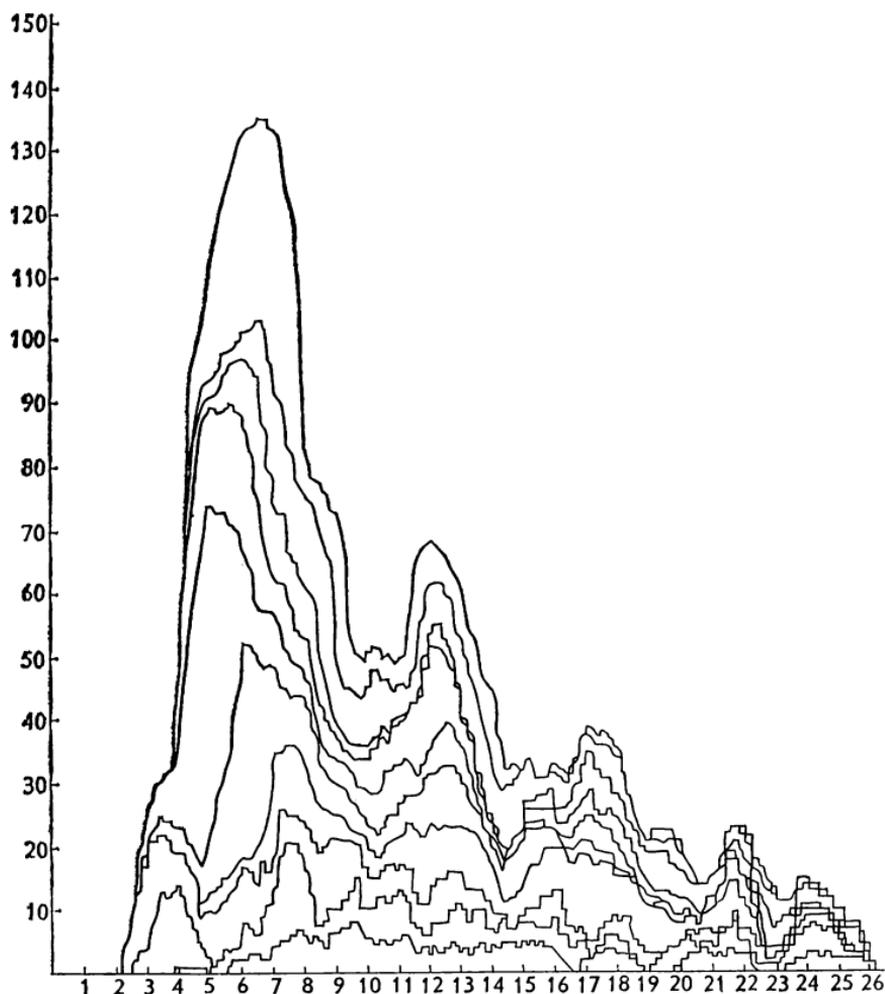


Рис. 13.

Результаты представлены на рис. 13. По оси абсцисс отложены измеренные заряды в единицах 10^{-10} эл.-ст. ед.; по оси ординат — число случаев наблюдения. Первые сто результатов измерений представлены на графике нижней гистограммой. Добавление к ним второй сотни результатов даст вторую гистограмму, и так далее. Удивительные

флуктуации максимумов гистограмм были признаны загодочными, но не затрагивающими основного положения; ясно, что расстояния между этими пиками не связаны простыми целочисленными соотношениями, и нет никаких

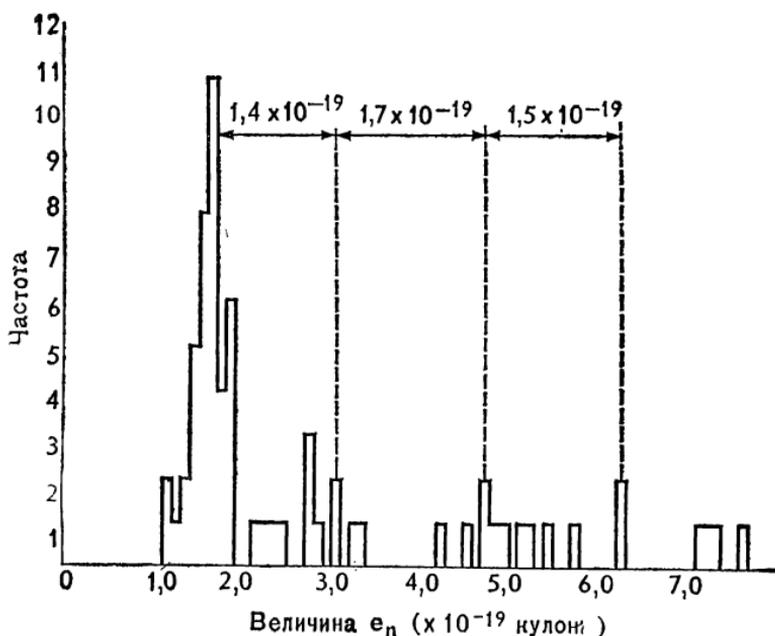


Рис. 14. «Гистограмма 74 зарядов на каплях, полученных семью парами студентов. Воспроизведено с оригинала студентом Р. Уильямсом, Западный Мичиганский университет, осень 1969 г.» Из статьи Хаима Круглака «Новый взгляд на установку Паско — Милликена с каплями масла» («American Journal of Physics» 40, май 1972, р. 769).

причин предполагать, что продолжение этого процесса не даст зарядов, еще меньше обнаруженных. Утверждение, вынесенное в заголовок статьи, несомненно, порождено показанными результатами¹³⁵.

Как это повторялось многие годы спустя, аудитория, которая выслушала и обсудила работу Эренхафта (что явствует из приложенной к ней стенограммы дискуссии), была представительной, озадаченной и неспособной предложить определенные меры по исправлению того, что казалось неправильным. Оглядываясь назад, легко видеть, что в эксперименте имелась по меньшей мере одна методологическая трудность, и важно то, что способ ее преодоления обычно не предлагается на публичных научных

собраниях. Экспериментаторы, как нам кажется, использовали все собранные ими показания: хорошие, плохие и средние. Однако того отбора, какой мы наблюдали при анализе Миллиkenом своих данных, не проводилось. На-

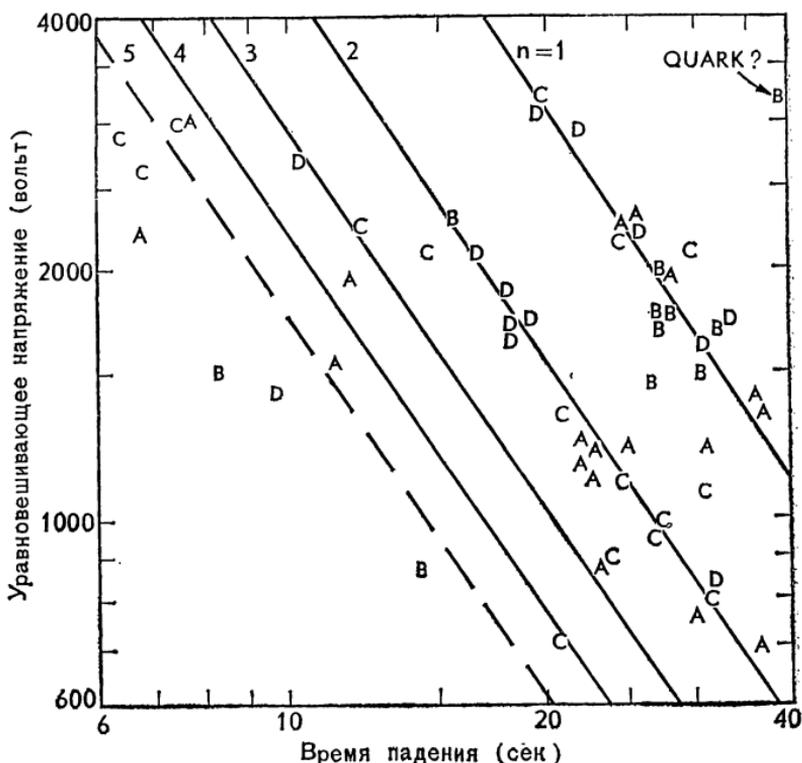


Рис. 15. «Значения уравновешивающего напряжения и времени падения, полученные студентами в 1971 учебном году (четыре лабораторные группы, в каждой из которых примерно по 15 студентов, обозначены буквами).

Экспериментальные точки с $n > 4$ отбрасывались, как были отброшены и несколько явных ошибок».

Из статьи Марка А. Хилда «Опыт Миллиkenа с каплями масла на лабораторных занятиях с начинающими» («American Journal of Physics» 42, март 1974, р. 244).

оборот, здесь был уклон в противоположном направлении. «Окно» было открыто, и принимались все «измерения». Метод Эренхафта в целом не отличался от того, что делают сегодня студенты, повторяя хорошо известный эксперимент. Рис. 14 и 15 наглядно иллюстрируют это, пока-

зывая широкий разброс результатов в некоторых из недавних публикаций о выполняемых студентами измерениях электрических зарядов на каплях масла.

Другая, кажущаяся несколько ироничной, возможность объяснения результатов Эренхафта состоит в том, что экспериментальное оборудование в Вене было более сложным, чем необходимо. Оборудование и методика у Милликена, во всяком случае на решающей ранней стадии, представляются гораздо более примитивными, чем у Эренхафта. Простая установка Милликена была собрана, можно сказать, домашними средствами. Распылителем был обычный пульверизатор, купленный в аптеке, а оптической системой служила небольшая зрительная труба, установленная в двух футах от зазора величиной в 1,6 см в горизонтальном (22 см в диаметре) воздушном конденсаторе¹³⁶. Гораздо более сложным было оборудование Эренхафта, включавшее ультрамикроскоп (которым Зидентопф и Жигмонди в 1902 г. вызвали сенсацию), позволявший наблюдать объекты вплоть до пределов, в 500 раз меньших разрешающей силы обычного микроскопа. К тому же при наблюдении броуновского движения Эренхафт сам усовершенствовал работу ультрамикроскопа. Используемая им система конденсаторов в обоих пространственных измерениях была примерно на порядок меньше, чем у Милликена, а диапазон размеров заряженных объектов, за которыми он мог наблюдать, был гораздо шире. Следовательно, это позволяло выполнять измерения на гораздо более мелких объектах в соответствии с его представлением о том, что в поисках самых малых зарядов следует наблюдать за наименьшими возможными объектами. Что касается опасений относительно применимости закона Стокса в таком режиме, то у Эренхафта было два довода. Коль скоро поправка необходима, ее следует найти эмпирическим путем, а не вводить для этого (как, по его мнению, поступал Милликен) в метод определения поправки представление о дискретности электрона. Во всяком случае, поправки к закону Стокса сделали бы найденные им малые заряды еще меньше.

Хотя и может показаться, что Милликен изучал мир заряженных частиц с помощью на редкость примитивного устройства, но, как ни парадоксально, именно в этом была одна из его сильных сторон. Именно размеры установки, первоначально выбранные им, и напряжение имевшихся

батарей были «тем элементом, благодаря которому возможная неудача стала успехом. В самом деле. Природа оказалась здесь очень добра. Она оставила лишь весьма узкий интервал напряженностей поля, в пределах которого вообще возможны эксперименты, подобные этим. Необходимо, чтобы капельки были достаточно большими, чтобы можно было пренебречь броуновским движением, чтобы они были круглыми и однородными, легкими и неиспаряющимися, чтобы расстояние было достаточно большим для точного измерения времени, а поле — достаточно сильным для того, чтобы его действие на каплю, несущую всего один или два электрона, превысило тяготение. Вряд ли любое другое сочетание размеров, напряженностей поля и материалов могло привести к полученным результатам»¹³⁷.

Природа добра не к каждому. Только относительно немногие ученые умеют найти или распознать «наилучшее средство», которое становится инструментом, открывающим новую область исследований. Галилей, например, ухватился за маятник и катящийся мяч, ставшие ключом к динамике; Ферми использовал медленные нейтроны, а Эйнштейн — мысленный эксперимент со свободно падающим наблюдателем, замечающим кажущееся отсутствие гравитационных эффектов. Эренхафт отказывался видеть какое-либо сходство между этими случаями и установкой Милликена. Наоборот, работа Милликена казалась ему неприемлемой по эпистемологическим мотивам: то, что измерения Милликена были ограничены более узким диапазоном масс, относительно большими каплями и не допускали использования произвольно больших или малых капель, представлялось признаком их ущербности. Подлинные открытия должны проявляться в широком диапазоне, а не в пределах сравнительно узкого участка.

ОТКАЗ ОТ ЭЛЕКТРОНА

Отречение Эренхафта от первоначально выразившегося им убеждения в существовании элементарного количества электричества было столь быстрым и бурным, что мы можем, по-видимому, точно указать тот период, когда оно произошло. Его последняя статья, написанная в традиции поиска заряда электрона, была получена в «*Physikalische Zeitschrift*» для публикации 10 апреля 1909 г.¹³⁸. Чуть

больше года спустя, к 21 апреля 1910 г. (дата появления краткого сообщения в «Anzeiger») ¹³⁹, его взгляды начали изменяться: «Неделимое количество электричества, существование которого предполагается в теории, должно иметь величину значительно ниже той, которая принималась до сих пор». К маю 1910 г. ¹⁴⁰ атом электричества сократился до менее чем 1×10^{-10} эл.-ст. ед., и вопрос о том, «может ли он существовать вообще», был поставлен как предмет дальнейших исследований. Когда в мае 1910 г. ¹⁴¹ появилась первая большая работа, слова «элементарное количество электричества» (elektrische Elementarquantum), содержащиеся в заголовках статей 1909 г. и в подзаголовках кратких сообщений от 21 апреля и 12 мая 1910 г., вообще исчезли из названий.

Хотя Эренхафт и делал еще некоторые жесты, чтобы как-то связать свою новую работу с той, которую он выполнял в 1909 г. (используя аналогичное экспериментальное оборудование), ясно, однако, что к третьей неделе апреля 1910 г. у него уже имелись по меньшей мере самые серьезные сомнения относительно электрона, на которые в 1909 г. не было и намека. К середине мая 1910 г. он был вполне уверен в существовании субэлектронов, для зарядов в которых вообще могло не быть нижней границы. Он обратил внимание на широкий разброс между приводимыми в литературе значениями e (от 1 до 6×10^{-10} эл.-ст. ед.), полученными как различными методами, так и разными исследователями с помощью одних и тех же методов. Избегая того научного стиля, который допускает нагромождение друг на друга «гипотез и поправок», приходится признать, что в природе такой разброс заряда действительно имеет место ¹⁴². Соответственно следует модифицировать и интерпретацию экспериментов. Несколькими месяцами позже ¹⁴³ Эренхафт был уже «твердо уверен» в этих результатах; для этого необходимо было только взглянуть на то, что сама природа сделала непосредственно доступным для прилежного экспериментатора, как это видно из данных на рис. 13.

С продолжением публикаций Эренхафта возрастающее значение приобретал эпистемологический аспект его работы, т. е. использование этих экспериментов для критики достоверности или необходимости атомизма как такового. В длинной статье 1914 г. ¹⁴⁴, содержащей обзор его работ и полемику с противниками, Эренхафт все еще

пользовался некоторыми из своих прежних аргументов. Теперь он считал, что кванты электричества, если они вообще существуют, должны иметь самое большое порядок величины 10^{-11} эл.-ст. ед. Так он мог повернуть против Милликена его же оружие, ибо то, почему в экспериментах Милликена и других вновь и вновь получалось определенное значение e , сейчас становилось уже загадкой, нуждавшейся в объяснении. Эренхафт намекал на возможность теоретического объяснения того, почему у него на самых малых частицах проявлялись самые малые заряды: этого и следовало ожидать, объяснял он, поскольку наименьшие количества электричества должны переноситься телами наименьшей емкости.

Но основное внимание Эренхафта привлекали не чисто физические аргументы. Он сожалел о том факте, что хотя несколькими годами раньше Людвигу Больцману все еще приходилось доказывать необходимость атомистики в естествознании, теперь она стала частью современных представлений: «В последние годы атомистические теории вещества, электричества и излучения распространились в физике больше, чем когда-либо ранее»¹⁴⁵. Все физики были убеждены в эвристической ценности этих теорий; но если такие теории есть нечто большее, чем чисто умозрительные конструкции, они должны быть прочно основаны на экспериментах, способных выдержать критическое изучение. Эренхафт замечал, что его исследование как раз и стало таким изучением основ одной из этих гипотез (атомизма электричества) и что его стиль работы состоит в том, чтобы исходить *«непосредственно из фактов»*.

Конечно, прямого экспериментального опровержения утверждений Эренхафта так и не было. В издании «Теории электрона» 1916 г. Г. А. Лоренцу пришлось заметить: «Нельзя сказать, что вопрос полностью выяснен». В своем обзоре этой проблемы Р. Бэр в 1922 г.¹⁴⁶ отметил: «Эксперименты [Эренхафта] оставляют по меньшей мере неудобное ощущение». Подобно многим спорам такого рода, и этот канул в забвение без столь драматических событий, как четкое, получившее всеобщее признание опровержение. В самом деле, Эренхафт продолжал публиковать работы по субэлектронам вплоть до 40-х годов XX в., спустя долгое время после того, как все остальные потеряли к этому предмету всякий интерес.

В речи при получении Нобелевской премии Милликен положил конец этому спору тщательным обзором своей работы. Через год после ее опубликования в 1925 г. Эренхафт в публичном выступлении также дал понять о своем признании того, что с практической точки зрения полемика завершилась. Случилось так, что эта речь тоже была частью церемонии, которая состоялась в субботу в общественном парке Вены. Поводом для нее явилось открытие памятника Эрнсту Маху в ознаменование десятой годовщины его смерти. С хвалебной речью выступил Мориц Шлик¹⁴⁷. Другую речь произнес Эйнштейн, высоко оценивший Маха и когда-то во время своей поездки в Вену в 1911 г. специально искавший встречи с ним, которую организовал им, несомненно, Эренхафт. Выступление самого Эренхафта¹⁴⁸ было кратким, но содержательным. Возможно, именно здесь впервые были высказаны основные мотивы его долгой борьбы против атома электричества.

Эренхафт видел в Махе одинокого борца. Даже бюст Маха, который власти не разрешили установить в галерее здания университета, стоял «в одиночестве и изоляции». Принимая во внимание свойственную Маху недооценку самого себя, Эренхафт считал, что Мах «остался непонятым и имел так мало последователей, да и те не были физиками...». «...Мне хочется только привлечь внимание к следующему: огромное различие между Махом и большинством физиков порождено тем обстоятельством, что с дальнейшим развитием физики обе противоположные точки зрения становятся все более фундаментальными, все более противостоящими друг другу и несовместимыми, подобно двум исповеданиям веры. Мах [кажется нам] приверженцем гораздо более скромной, феноменологической точки зрения, которая находит свое удовлетворение просто в описании явлений и не надеется на иные возможности. Другие придерживаются взглядов, которые в виде статистических методов и умозрительных дискуссий о строении материи находят свое отражение в атомизме, и они считают себя способными добраться до истинной сущности вещей».

Выступление Эренхафта завершается затем поистине вагнеровским крещендо: «Мах имел мужество выступить с сильными аргументами против атомистического мировоз-

зрения (Weltanschauung), которым увлеклись почти все остальные, — против той самой атомистики, которая в мельчайших, возможно невидимых, составляющих вещества, а в последнее время и электричества видит волшебные ключи, открывающие наконец все двери естествознания.

Но мир является свидетелем замечательного прогресса. С одной стороны, дерзкие исследователи, не предостерегаемые такими могучими мыслителями, каким был Мах, все дальше вторгаются в сферу атомистики; с другой стороны, следует признать, что великий человек, память которого мы чествуем сегодня, в конце концов может победить. Кто осмелится быть судьей в этой Битве Двух Миров? (Wer wagt es, in diesem Kampfe zweier Welten das Urteil zu fällen?)»¹⁴⁹.

Эренхафт действительно коснулся ключевого момента. О чем бы конкретно ни шел спор, он включал в себя и противоборство двух старых, глубоко противоположных систем взглядов: концепций атомизма и континуума как основных инструментов объяснения электрических явлений и, более широко, использования методологического прагматизма как альтернативы феноменологической идеологии.

До этих пор можно было уверенно продвигаться на основании имеющихся в настоящее время документов. Некоторые мучительные вопросы остаются открытыми. В какой-то момент после своего первого крупного успеха в физике, основанной на атомизме, Эренхафт явно перешел на сторону антиатомизма и «антигипотетического» теоретизирования; и то, и другое обычно связывается с именем Маха, хотя Эренхафт не был махистом в полном смысле этого слова. Как мы видели, первые признаки изменения его взглядов появились в статьях, относящихся к концу апреля и маю 1910 г.¹⁵⁰ Но переход с одной позиции на другую — противоположную — совершается в науке редко; и здесь естественно было бы поинтересоваться, какие же внешние влияния могли помочь Эренхафту стать на свою новую точку зрения. Отпор, полученный им в статье Милликена (опубликованной в феврале 1910 г.), вполне мог быть одной из причин, хотя и маловероятно, чтобы она была главной.

Мы не знаем причин и, возможно, никогда не узнаем. Но имеется еще одно неопубликованное письмо из пере-

писки Маха с Лампой, где речь идет об Эренхафте, и оно относится как раз к тому критическому периоду, когда изменились его взгляды. Возможно, именно в нем и следует искать ключ к разгадке. Письмо на двух страницах из Праги от Лампы к Маху датировано 1 мая 1910 г. — сразу после первого, довольно осторожного сообщения Эренхафта 21 апреля и до его более подробного доклада в середине мая¹⁵¹.

Лампа сначала сообщает Маху о нападках на философские взгляды, разделяемые ими обоими, со стороны Макса Планка — последнего из крупных физиков, кто осмеливался открыто критиковать Маха, хотя Мах и его сторонники считали себя маленькой группой, со всех сторон окруженной врагами. Лампа пишет, что Планк опубликовал книгу, «в которой он пространно (in extenso) отстаивает свои взгляды, против которых Вы боролись». Планк безнадежно запутался в противоречиях; следовательно, «ее чтение доставит Вам много удовольствия». Хотя книга и интересна с точки зрения физики, но содержащаяся в ней «эпистемология — детская»¹⁵².

Затем Лампа обращается к результатам своей недавней поездки в Вену. Возможно, именно о ней сообщалось в его более раншем письме от 9 февраля 1910 г., в котором он писал Маху: «Я с удовольствием ожидаю возможности лично приветствовать Вас через несколько недель и сообщу Вам тогда о дальнейшем развитии дела [вакансия по физике в Праге, все еще не заполненная]»¹⁵³. Без вступления, как будто речь идет о предмете, хорошо знакомом обоим, Лампа переходит к работе Эренхафта: «Если подтвердятся предварительные измерения, выполненные Эренхафтом по ходу его продолжающихся исследований зарядов коллоидных частиц во время моего пребывания в Вене, то электрон будет делим. Уже тогда Эренхафт обнаружил частицы, несущие половину заряда электрона, а с тех пор Ланг [Виктор фон Ланг, чьим ассистентом Эренхафт был в 1903 г.] сообщил мне, что он, по-видимому, наблюдал частицы с $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{5}$ заряда электрона.

Было бы просто замечательно [Es wäre doch zu schön], если бы с электроном произошло то же самое, что и с атомом после открытия катодных лучей...»

В самом деле, с точки зрения наиболее горячих приверженцев Маха это было бы просто замечательно — долгожданная новая надежда для их дела, находящегося в

столь трудном положении. Все последние события были обескураживающими: например, успешная кампания Перрена в защиту реальности существования молекул. Наверное, особенно серьезным ударом было отступничество Вильгельма Оствальда. В предисловии, написанном им к учебнику «Allgemeine Chemie» («Общая химия»), изданному в 1908 г. (датировано ноябрем того же года), Оствальд отрекся от своего антиатомизма: «Теперь я убежден, что недавно мы получили экспериментальное доказательство дискретной, или гранулярной, природы вещества, которое сторонники атомной гипотезы тщетно искали в течение сотен и тысяч лет. [Эксперименты, подобные опытам Дж. Дж. Томсона и Ж. Перрена], позволяют сейчас самым осторожным ученым говорить об экспериментальном доказательстве атомной природы вещества. Атомная гипотеза, таким образом, поднялась до положения хорошо обоснованной теории»¹⁵⁴.

В этот мрачный для махистов период Эренхафт мог показаться им новой яркой звездой¹⁵⁵. В свою очередь он вряд ли остался безразличен к тому благоприятному впечатлению, которое на них производили его предварительные результаты именно на этой промежуточной стадии его работы и как раз тогда, когда они нуждались в новых идеях и новых сторонниках.

ПРИМЕЧАНИЯ

Благодарность. Мне приятно выразить свою благодарность за помощь в поиске документов, полученную от Джудит Р. Гудстейн и Дэниела Кевлза из Калифорнийского технологического института; Чарльза Вейнера из Массачусетского технологического института и Джоан Уарноу из Центра истории физики Американского института физики в Нью-Йорке; Эрвина Хиберта из Гарвардского университета; Михаэля Й. Хигатсбергера из Венского университета; и архив Эрнста Маха во Фрейбурге. Я признателен Джону Эренхафту за то, что он предоставил мне доступ к документам из наследия Феликса Эренхафта. Благодарю также П. А. М. Дирака за разрешение опубликовать выдержки из его писем. Материалы из Собрания сочинений Милликена любезно предоставлены для публикации архивом Калифорнийского технологического института.

Изложенные здесь события я обсуждал на своем семинаре по истории науки и благодарю своих студентов, в том числе Брюса Кольнера и Патри Дж. Пульзе, за полезные замечания и помощь в библиографических поисках. Я выражаю признательность за поддержку начальных стадий этого исследования со стороны Программы истории и философии науки Национального научного фонда.

Более ранние варианты настоящей главы докладывались на встрече Общества истории науки (Вашингтон), в Международной школе по физике (Варенна) и на факультетских семинарах в Университете Джонса Гопкинса и в Стэнфордском университете.

1. Medawar P. B. *The Art of the Soluble*. London: Methuen & Co., Ltd., 1967, p. 7.

2. Там же, с. 151, 155.

3. Reichenbach H. *The Philosophical Significance of the Theory of Relativity*. — In: Schilpp P. A. (ed.). *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*. Evanston, Ill.: Library of Living Philosophers, 1949, p. 292.

4. Popper K. R. *The Logic of Scientific Discovery*. New York: Basic Books, Inc., 1959, p. 31.

5. Лучшие из имеющихся библиографий следующие: о Милликене см.: "Biographical Memoirs of the National Academy of Sciences 33", 1959, 270—282; об Эренхафте: Bittner L. *Geschichte des Studienfaches Physik an der Wiener Universität in den letzten hundert Jahren* (диссертация, Венский университет). Хотя оба эти источника полезны, но в них имеются почти одинаковые пробелы,

например не включены основные работы каждого из ученых: Милликена — “New Modification of the Cloud Method of Measuring the Elementary Electrical Charge and the Most Probable Value of That Charge”—In: “Physical Review” 29, 1909, p. 560—561; и Эренхафта — “Über eine neue Methode zur Messung von Elektrizitätsmengen, die kleiner zu sein scheinen als die Ladung des einwertigen Wasserstoffs oder Electrons und von dessen Vielfachen abweichen”. — In: “Physikalische Zeitschrift”, 11, 1910, S. 940—952.

6. Millican R. A. A New Modification of the Cloud Method of Determining the Elementary Electrical Charge and the Most Probable Value of That Charge. — In: “Philosophical Magazine” 19, 1910, p. 209—228. (Поступила в редакцию 9 октября 1909 г.).

7. Millican R. A. The Electron: Its Isolation and Measurement and the Determination of Some of Its Properties. Chicago: University of Chicago Press, 1917, p. 158 (в дальнейшем цитируется как “The Electron”). В переработанном издании 1924 г. (с. 161) утверждение осталось без изменений.

8. Принадлежащие, например, Р. Полу (1911), Р. Бэру (1922) и О. Д. Хвольсону (1926), не говоря уже о самих главных героях.

9. Хвольсон О. Д. Курс физики. Том дополнительный «Физика 1914—1925», ч. I. Л., 1926, с. 18.

10. Kruglak H. Another Look at the Pasco-Millican Oil Drop Apparatus. — In: “American Journal of Physics”, 40, 1972, p. 768—769. См. также: Heald M. A. Millican Oil-Drop Experiment in the Introductory Laboratory. In: “American Journal of Physics”, 42, 1974, p. 244—246. Kapusta J. L. Best Measuring Time for a Millican Oil Drop Experiment. — In: “American Journal of Physics”, 43, 1975, p. 799—800.

11. Millikan R. A. Op. cit. (прим. 6), p. 220.

12. Там же, с. 223: «Это единственное упомянутое выше наблюдение проводилось, по-видимому, именно над такой каплей [однократно заряженной и очень маленькой каплей воды или спирта], но она столь быстро испарялась, что я получил плохое значение e ». Это объяснение совпадает с мнением, недавно выраженным П. А. М. Дираком, который среди современных физиков, пожалуй, с наибольшей симпатией относится к надеждам Эренхафта (но не к его методике). В письме от 11 октября 1972 г. Дирак писал автору: «Похоже, что аномальная капля Милликена была заряжена однократно, тогда как все остальные — двукратно или трехкратно. Это ставит Милликена в то же положение, в каком находился Эренхафт. Насколько можно понять из опубликованных данных, как Милликен, так и Эренхафт (в своих более поздних работах) находили аномальные заряды на всех своих мельчайших частицах и не обнаруживали их на частицах большего размера. Выводы: 1) кварков не существует; 2) существует какая-то погрешность эксперимента, из-за которой все мельчайшие частицы кажутся несущими аномальный заряд; 3) по какому-то необъяснимому совпадению аномальный заряд всегда близок к $2/3 e$. Мне кажется, что это будет корректная оценка исторической информации».

В письме ко мне от 4 декабря 1972 г. профессор Дирак добавил: «...Я просто хотел показать, что между Милликеном и Эренхафтом имеется сходство. Они оба находили аномальные заряды

на своих мельчайших частицах, и у них обоих аномальный заряд был близок к $2/3 e$. Нельзя предполагать, что кварки просто прилипают к мельчайшим частицам, поэтому следует допустить, что в обоих экспериментах имелась общая погрешность и множитель $2/3$ — это странное совпадение». Профессор Дирак развивает эти взгляды в: *Weiner C. (ed.). History of Twentieth Century Physics. New York: Academic Press, 1977, p. 290—293.*

Недавно профессор У. М. Фэйрбэнк совместно с А. Ф. Хибардом и Дж. С. Ларю предложил эксперимент, цель которого — обнаружить присутствие свободных кварков и, следовательно, долгоживущих дробных зарядов ($\frac{1}{3}$ и $\frac{2}{3} e$) на таких малых телах,

как сверхпроводящие ниобиевые сферы массой 7×10^{-5} граммов. Хотя по своей постановке этот эксперимент во многих отношениях напоминает опыт Милликена, используемые физические эффекты совершенно различны. В момент написания этих строк окончательные данные еще не были получены, но провести такой эксперимент было бы весьма разумно. См.: *Hebard A. F. Search for Fractional Charges Using Low Temperature Techniques, Ph. D. Thesis, Stanford University Physics Department, December 1970, и Lubkin G. B. Stanford Group Shows Apparent Evidence for Quarks. — In: "Physics Today", 30, 1977, p. 17—20.*

13. Изучением исследований коллоидов, проведенных в этот период, занимается Р. М. Маккормак. Феликс Эксер из Венского университета, бывший, несомненно, одним из первых наставников Эрнста, опубликовал данные наблюдений размеров и движения коллоидных частиц в 1900 г. После создания ультрамикроскопа и теории броуновского движения «коллоидное состояние» стало передовым рубжом чистой и прикладной науки. В 1908 г. Вильгельм Оствальд добавил главу о химии коллоидов в новое издание своего широко известного учебника «Общая химия». Его сын Вольфганг, редактировавший с 1907 г. новый журнал "Zeitschrift für Chemie und Industrie der Colloide", опубликовал два учебника по химии коллоидов. А Эйнштейн счел необходимым попытаться обратиться к читателям вне «чистой» физики, представив свою работу по броуновскому движению малых частиц в виде двух статей (1907, 1908) в журнал электрохимии ("Zeitschrift für Elektrochemie").

14. Биографии Милликена включают: *DuBridge L. A. and Epstein P. S. Biographical Memoirs of the National Academy of Sciences (op. cit., прим. 5);* статью о Милликене в: *Kevles D. J. The Dictionary of Scientific Biography; Kevles D. J. Millikan: Spokesman for Science in the Twenties. — In: "Engineering and Science". California Institute of Technology, April 1969, p. 17—22; Neher H. V. Millikan — Teacher and Friend. — In: "Amer. J. Phys.", 32, 1964, p. 868—877; и «Автобиографию» Милликена ("Autobiography". New York: Prentice-Hall, 1950) (в дальнейшем цитируется как "Autobiography").*

15. Имеются 99 ящичков с документами, приведенными в порядок и снабженными индексами. Их описание и перечисление см.: *Gunns A. F. and Goodstein J. R. Guide to the R. A. Millikan Collection at the California Institute of Technology. New York: American Institute of Physics, 1975, Publication № R-269.*

16. "Autobiography", p. 58—60.

17. В своей «Автобиографии» Милликен упоминал, что в 1908 г. он «только начал узнавать о некоторых хороших примерах оценки заряда электрона». Замечание об этом в книге «The Electron» (с. 54—55) отодвигает эту начальную дату на два года раньше: «В 1906 г., будучи неудовлетворен разбросом этих результатов [опубликованных Г. А. Вильсоном в 1903 г., в которых *e* определялось по наблюдению падающих облаков заряженных капель], автор повторил эксперимент Вильсона, не добившись, однако, большей согласованности... результаты не были сочтены достойными опубликования».

18. Эта информация основывается на неопубликованном автобиографическом рассказе Эренхафта о своей молодости. Отчасти из-за вынужденного бегства Эренхафта со своей родины и второй мировой войны многие из его документов, несомненно, утеряны. Часть переписки Ф. Эренхафта находится в архивах Американского института физики, в Калифорнийском технологическом институте и в библиотеке Барнди.

19. Frank P. Einstein: His Life and Times. New York: Alfred A. Knopf, 1947, p. 175. Эта книга была переведена Джорджем Розеном, переработана и издана Шуичи Кусака. Но лучше всего вернуться к оригиналу Франка — немецкому изданию: "Einstein, sein Leben und seine Zeit". Munich: Paul List Verlag, 1949.

20. Сообщение о лекциях Эренхафта в Австрии в 1947 г. подготовил Поль К. Фейерабенд, который присутствовал на них, будучи в то время студентом ("Ehrenhaft in Post-War Vienna", 1967).

21. Эту тему исследовали Браш, Бухдаль, Хиберт, Лаудан, Скотт, Брок и Найт и другие. В особенности см.: Nye M. J. Molecular Reality. New York: American Elsevier Publishing Co., 1972.

22. Милликен сообщает: «Большинство из нас впервые смотрели [на них] с изумлением и трепетом на конференции в Данди [1912]» («Autobiography», p. 99).

23. Lampra A. Ernst Mach. Prague: Verlag Deutscher Arbeit, 1918, p. 40—41, см. также p. 28. [Как и всюду, где цитируются оригиналы на иностранных языках (т. е. не по-английски. — Прим. перев.), перевод здесь мой собственный.] Другой источник по тому же вопросу, во многом перекликающийся с этим, более поздний очерк философа науки позитивистского направления Морица Шлика, опубликованный в июне 1926 г. в ознаменование десятой годовщины смерти Маха: "Ernst Mach, der Philosoph". — In: "Neue Freie Presse" (Supplement). Vienna, 12 June 1926. Часть очерка Шлика я перевел в книге "Thematic Origins of Scientific Thought: Kepler to Einstein". Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1973, p. 222 [с. 76 настоящего издания] (в дальнейшем цитируется как "Thematic Origins") о взаимоотношениях Маха и Эйнштейна.

24. Это хорошо показано в книге: Blackmore J. T. Ernst Mach, His Life, Work and Influence. Berkeley: University of California Press, 1972, chs. 13 and 19). О Махе в последнее время было написано несколько интересных работ. См. в особенности: Brush S. G. The Kind of Motion We Call Heat, vol. 1: Physics and the Atomists. New York: North Holland Publishing Company, 1976,

ch. 8 ("Mach"), p. 274—299; перепечатано с дополнительными небольшими изменениями автора в "Synthese", 18, 1968.

25. Mach E. Die Leitgedanken meiner naturwissenschaftlichen Erkenntnislehre und ihre Aufnahme durch die Zeitgenossen.—In: "Phys. Zs.", 11, 1910, p. 599—606; Planck M. Zur Machschen Theorie der physikalischen Erkenntnis.—In: "Phys. Zs.", 11, 1910, p. 1186—1190. Poleмика между Махом и Планком анализировалась Блэкмором, цит. соч. (прим. 24), ch. 14. Английский перевод статей Маха и Планка вместе с их анализом см.: Toulmin S. (ed.), Physical Reality. New York, Harper and Row, 1970.

26. Frank Ph. Einstein, sein Leben. Op. cit. (прим. 19), p. 135. Когда Лампа умер в январе 1938 г., Эренхафт в некрологе подчеркнул, что Лампа как раз собирался выступить с докладом в ознаменование 100-й годовщины со дня рождения Маха. ("Anton Lampa").—In: "Neue Freie Presse", Vienna, 29 January 1938, p. 6.) О Лампе см. также: Kleiner A. Anton Lampa und Albert Einstein.—In: "Gesnerus", 32, 1975, p. 284—292.

27. Другие аспекты влияния Маха на выбор кандидата через Лампу и Пика обсуждаются в книге Блэкмора, цит. соч. (прим. 24), ch. 17. Цитируемая мною переписка Лампы с Махом находится в Архиве Эрнста Маха (Фрейбург, ФРГ).

28. Лампа писал Маху 1 мая 1910 г.: «Я полагаю, что теория относительности — начало эпохи феноменологии в физике» (Архив Маха; Фрейбург, ФРГ). Сам. гл. III настоящего издания.

29. Там же, с. 83. Письмо датировано 17 августа 1909 г.

30. Когда Эйнштейн год спустя уехал из Праги в Цюрих, его преемником стал Филипп Франк, кандидатуру которого вновь поддержали Мах, Лампа и Пик, как и сам Эйнштейн.

31. В своих научных публикациях Милликен не всегда достаточно ясно выражает, до какой степени он не согласен с бытовавшим ранее убеждением в том, что термин «электрон» следует сохранить для обозначения заряда безотносительно к массе и другим свойствам частицы, несущей заряд. В своем очерке «Новые доказательства кинетической теории вещества и атомной теории электричества» («The Popular Scientific Monthly», 80, 1912, p. 417—440) он утверждает, что электрон имеет заряд, массу и дискретный, малый объем («возможно, это мельчайший из существующих объектов», p. 434). Первоначальный вариант рукописи в Архиве Милликена (Калифорнийский технологический институт, папка 4.11 с надписью «Вероятно, 1921 г. или раньше. Н.Н. 1/27/54») почти наверняка представляет собой вариант по крайней мере части этой статьи 1912 г.; весьма возможно, что она была написана в конце 1911 г. или в начале 1912 г.

32. "Autobiography", p. 80, 82.

33. Об этом свидетельствуют заметки на полях различных вариантов «Автобиографии»; см. ящики с документами № 65—67.

34. Millikan R. A. The Electron and the Light-quant from the Experimental Point of View. May 25, 1924. — In: "Nobel Lectures — Physics, 1922—1941". Amsterdam: Elsevier Publishing Co., 1965, p. 58—59. Между этими двумя вариантами есть небольшая разница: в тексте Нобелевской лекции слова в цитате не были выделены шрифтом.

35. "Autobiography", p. 83.

36. Там же.

37. В ящике с документами № 67, в особенности 67.3 и 67.4; но см. также ящики № 65, 66 и 68. Папка 67.3 начинается так: «Научные мемуары Р. Э. Милликена. Личные воспоминания Р. Э. М. о развитии американской науки». В нанке имеется замечание, что это первый вариант «Автобиографии», написанный на борту парохода по пути в Индию в 1939 г. (Архив Милликена, Калифорнийский технологический институт).

38. Это же мнение подтверждают и более ранние работы. Например: «Видел, как она... поймала два отрицательных» (Millikan R. A. The Isolation of an Ion, a Precision Measurement of Its Charge, and the Correction of Stokes' Law. — In: "Science", 32 n.s. [1910], p. 439); см. также его статью в: "Popular Scientific Monthly". Op. cit., прим. 31.

39. Идеи Рома Харре о роли наглядных моделей и о взаимосвязи мышления, оперирующего зримыми образами, и концептуального мышления, по-видимому, окажутся полезными, если стремиться продолжить этот анализ. См. обсуждение в: MacKinnon E. A Reinterpretation of Harré's Copernican Revolution. — In: "Phil. Sci.", 42, 1975, p. 67—97.

40. "Lord Rutherford of Nelson". — In: "The American Philosophical Society Year Book, 1938" Philadelphia, 1939, p. 387.

41. Nye M. J. Op. cit. (прим. 21), p. 65. Я анализировал роль зримых образов в мысленных (Gedanken) экспериментах Эйнштейна; см.: Holton G. Thematic Origins, p. 353—360.

42. "Autobiography", p. 58—59.

43. Дж. С. Таунсенд (Townsend J. S. Electricity and Gases. Oxford: Clarendon Press, 1915, p. 52—53) называет результаты Милликена «интересными» и «весьма надежными». Но вместе с тем, когда Таунсенд излагает вполне развитый метод масляных капель Милликена, он рассматривает его просто как одно из усовершенствований методики, как часть его главы 7 «Образование облаков и определение атомного заряда».

44. "Autobiography", p. 63.

45. Там же, с. 69.

46. Там же.

47. Там же.

48. Там же, с. 72.

49. «The Electron», p. 15. Милликен всегда интересовался историей науки, и первую главу его книги составляет интересный и полезный обзор: «Древние представления об электричестве».

50. Несомненно, впервые эта фраза цитировалась Милликеном в рукописи его статьи 1912 г. (цит. соч., прим. 31) и неоднократно — после, например в книге «Электрон» (с. 15), в Нобелевской лекции [цит. соч. (прим. 34), с. 54] и в его «Автобиографии» (с. 69—70). В действительности же Франклин выражался несколько иначе: «Электрическая субстанция состоит из чрезвычайно малых частиц, так как она способна проникать в обыкновенную материю, даже в самые плотные металлы, с большой легкостью и свободой, как бы не встречая сколько-нибудь заметного сопротивления» (Франклин В. Опыты и наблюдения над электричеством, М., 1956, с. 53).

Эта фраза содержится в начале сочинения: «Мнения и пред-

положения касательно свойств и эффектов электрической материи, вытекающие из опытов и наблюдений, сделанных в Филадельфии в 1749 г.». См.: Cohen I. B. Benjamin Franklin's Experiments. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1941, p. 212—213. После публикации книги Коэна Милликен ссылался на нее и уже точно цитировал высказывание Франклина везде, за исключением своей «Автобиографии». Об источниках атомизма Франклина см.: Cohen I. B. Franklin and Newton. Philadelphia: The American Philosophical Society, 1956, chs. 6—10.

51. Millikan R. A. Op. cit., прим. 31, и — с небольшими изменениями — см., например, "The Electron", p. 11.

52. "The Electron", p. 24.

53. Millikan R. A. Franklin's Discovery of the Electron. — In: "Amer. J. Phys.", 16, 1948, p. 319.

54. Millikan R. A. and Mills J. A Short University Course in Electricity, Sound and Light. Boston: Ginn and Company, 1908, p. 6—8. Написав этот учебник, отмечал Милликен в своей «Автобиографии» (с. 69), он энергично взялся за свою работу по определению e . В более раннем учебнике, написанном совместно с Г. Дж. Гейлом, он также утверждал, что есть «много экспериментальных доказательств существования» электронов (Millikan R. A. and Galt G. J. A First Course in Physics. Boston: Ginn and Company, 1906, p. 244).

55. Rutherford E. The Modern Theories of Electricity and Their Relation to the Franklinian Theory. — In: "The Record of the Celebration of the Two Hundredth Anniversary of the Birth of Benjamin Franklin". Philadelphia: The American Philosophical Society 1906, p. 123—157, в особенности p. 156. Милликен, по-видимому, узнал об этом докладе довольно поздно: похоже, что впервые он ссылается на него в своем некрологе Резерфорду в 1938 г. (цит. соч., прим. 40.)

56. Kelvin. Aepinus Atomized. — In: "Phil. Mag.", 3, 1902, p. 257—283. Резерфорд (цит. соч., прим. 55) шутил, что заглавие следовало бы изменить на «Франклин и Эпинус кельвинизированы» («Franklin and Aepinus Kelvinized»). Кельвин писал: «Мое предположение состоит в том, что [электрическая] жидкость Эпинуса состоит из чрезвычайно малых одинаковых атомов, которые я называю электронами [sic], гораздо меньших, чем атомы весомой материи...» (p. 257).

57. Maxwell J. C. Electricity and Magnetism. 1873, 1, p. 375 и далее.

58. Schuster A. The Progress of Physics during 33 Years (1875—1908). Cambridge University Press, 1911; New York, 1975, p. 59.

59. Kelvin. Contact Electricity and Electrolysis According to Father Boscovich. — In: "Nature", 56, 1897, p. 84—85.

60. По истории теорий электричества имеются многочисленные источники. Хорошим руководством, снабженным соответствующими примечаниями, является, например: Anderson D. L. Resource Letter (ECAN-1) on the Electronic Charge and Avogadro's Number. — In: "Amer. J. Phys.", 34, 1966, p. 1—7. Тот же автор опубликовал довольно интересную книгу вводного характера: "The Discovery of the Electron" (Princeton, N. J.: Van Nostrand Co., 1964); в главе 4 этой книги дается хорошее объяснение метода из-

мерений Милликена. Из более новых статей см.: Pais A. The Early History of the Theory of the Electron, 1897—1947. — In: "Aspects of Quantum Theory", Cambridge University Press, 1972, p. 79—93, и: Miller A. I. A Study of Henri Poincaré's 'Sur la Dynamique de l'Electron'. — In: "Archive for History of Exact Sciences", 10, 1975, p. 207—328, secs. 1—4.

61. "Autobiography", p. 75.

62. См.: Townsend J. S. Op. cit. (прим. 43), ch. 7. Исследование облаков, сконденсировавшихся на ионах, все еще было новым разделом пауки, который в значительной степени был побочным продуктом сильного интереса к ионизации газов, открытой Й. Элстером и Х. Гайтелем в 1894 г.; его развитию необычайно способствовало открытие ионизирующих излучений, рентгеновских лучей и радиоактивности.

63. Определение e Милликоном по наблюдениям заряженных облаков (что мы называем «методом I») основывалось на следующих работах: Thomson J. J. On the Charge of Electricity Carried by a Gaseous Ion. — In: "Phil. Mag.", 5, 1903, p. 346—355; Thomson J. J. On the Masses of the Ions in Gases at Low Pressures. — In: "Phil. Mag.", 48, 1899, p. 547—67; Wilson H. A. Determination of the Charge on the Ions Produced in Air by Röntgen Rays. — In: "Phil. Mag.", 5, 1903, p. 429—440.

Сначала наблюдался слой капель в облаке, причем предполагалось, что каждая из них имеет массу m , радиус a , плотность δ и падает со скоростью v_1 под действием силы тяжести mg . Затем наблюдался подобным образом созданный слой капель, падающих со скоростью v_2 в наложенном на них электрическом поле E , которое теперь действует на заряд q каждой капли. Следовательно,

$$\frac{mg}{mg + Eq} = \frac{v_1}{v_2}. \quad (1)$$

В предположении, что для капель, падающих в воздухе, вязкость которого равна μ , выполняется закон Стокса без модификаций:

$$F_{\text{frict}} = 6\pi\mu av_1 = mg \quad (\text{в равновесии}) = \left(\frac{4}{3}\pi a^3\delta\right)g. \quad (2)$$

Поэтому

$$v_1 = \frac{2}{9} \frac{ga^2\delta}{\mu} \quad (3)$$

или

$$a^3 = \left(\frac{9v_1\mu}{2g\delta}\right)^{3/2}. \quad (4)$$

Откуда находим q :

$$q = \frac{mg}{E} \frac{v_2 - v_1}{v_1} = \frac{4}{3}\pi \left(\frac{9\mu}{2g}\right)^{3/2} \frac{g}{E\delta^{1/2}} \cdot (v_2 - v_1) \cdot v_1^{1/2}. \quad (5)$$

Предполагая, что q есть целое кратное единицы заряда e , получим:

$$e = \frac{q}{n} \quad (\text{где } n = 1, 2, 3, \dots).$$

64. Millikan R. A. and Bege man L. On the Charge Carried by the Negative Ion of an Ionized Gas. — In: "Phys. Rev.", 26, 1908, p. 197—198 («О заряде, переносимом отрицательным ионом в ионизованном газе»). Несмотря на такое название, этот «заряд» был средним зарядом капель в верхнем слое падающего облака. Поскольку эта статья была получена приблизительно в начале января 1908 г. и опубликована в феврале 1908 г., работа не могла быть сделана летом 1908 г., как утверждает Милликен в книге "The Electron" (p. 55).

65. Rutherford E. and Geiger H. The Charge and the Nature of the α -particle. — In: "Proceedings of the Royal Society", 81, London, 1908, p. 168—171. Резерфорд не вполне правильно привел полученное Милликемом среднее значение ($4,06 \times 10^{-10}$ вместо $4,03 \times 10^{-10}$), и в дальнейшем все, включая самого Милликена, следовали примеру Резерфорда ("The Electron", p. 55).

Ссылка на статью Милликена и Биджмея есть также в работе, в которой метод облаков Томсона — Таунсенда — Вильсона использовался, как оказалось, в последний раз — в заметке Р. Ф. Лэтти (Lattey R. F. The Ionization of Electrolytic Oxygen. — In: "Phil. Mag.", 18, 1909, p. 26—31). Лэтти сообщал, что милликемовское значение было «неточным» по сравнению с данными Резерфорда и самого Лэтти.

66. Heilbron J. L. and Kuhn T. S. The Genesis of the Bohr Atom. — In: "Hist. Stud. Phys. Sci", 1, 1969, p. 251.

67. См. "The Electron", p. 55, и "Autobiography", p. 72.

68. "The Electron", p. 56: «Первое определение [заряда электрона] по зарядам, переносимым отдельными капельками, было вполне весной 1909 г.». «Autobiography», p. 75: «Я завершил упомянутые измерения как раз к... сентябрю 1909 г.». См. также: Millikan R. A. The Existence of a Subelectron? — In: "Phys. Rev.", 8, 1916, p. 596.

69. "Autobiography" p. 72.

70. Там же, с. 73.

71. Теперь метод вычисления e был следующим: в методе «уравновешенных капель», который я называю милликемовским методом II, применяется уравнение (5), прим. 63; только v_2 теперь равно нулю.

72. "The Electron", p. 63.

73. Как это описал Милликен позднее, первоначально у экспериментатора имеется капля несколько тяжелее, чем нужно для того, чтобы электрическое поле ее удерживало, и потому она падает. Но пока она находится в поле зрения, испарение делает ее достаточно легкой, чтобы падение прекратилось, и, наконец, когда становится слишком легкой, она начинает подниматься. Следовательно, в промежутке имеется время от 10 до 15 секунд, в течение которых капелька кажется, по существу, неподвижной. См.: Millikan. Op. cit. (прим. 6), p. 217—218. Милликен обсуждал также оставшиеся источники погрешности этого метода, такие, как малое время падения (самое большое — 5—6 сек) при определении v_1 .

74. «Autobiography», p. 74. Подобная уверенность выражена в книге "The Electron", p. 70: «Ни в одном случае я не обнаружил ни одного [иона], заряд которого, измеренный так, как указано выше, не равнялся бы или в точности величине наименьшего по-

манного заряда, или небольшому целому кратному этой величины». См. также статью Милликена в журнале «Science», *op. cit.* (прим. 38), p. 440. Строго говоря, его эксперименты показывали не атомную природу самого элементарного заряда электричества, а лишь то (и это он понимал), что передача заряда от одних малых материальных тел к другим происходит целыми кратными *e*.

75. Открытие эксперимента, несомненно, не рассматривалось философией науки. Между открытием и планированием экспериментов имеются очевидные различия, но у них есть и по меньшей мере одна общая черта: и открытие, и планирование делаются в рамках более или менее четко понятой первоначальной проблемы. Поэтому описание этого эксперимента, данное Эрнстом Нагелем, можно принять только в том случае, если заменить слово «изобретен» на «открыт»: «Маловероятно, чтобы Милликен (или кто-нибудь другой) мог изобрести эксперимент с масляными каплями, если бы некоторая атомистическая теория электричества не поставила сначала вопрос, представляющийся важным в свете этой теории, решить который был призван именно данный эксперимент».

76. Ранние достижения Эрнста Рендхарфта можно проследить по следующим избранным статьям:

(a) "Über Colloidale Metalle". — In: "Anzeiger der k. Akademie der Wissenschaften" (Vienna), 18, 1902, p. 241—243.

(b) "Das optische Verhalten der Metallkolloide und deren Teilchengrösse" — In: "Sitzungsberichte der Mathematisch-Naturwissenschaftl. Klasse der k. Akademie der Wissenschaften" (Vienna), IIa, 112, 1903, p. 181—209; см. также: "Annalen der Physik", 4, 1903, Band 11, p. 489—514.

(c) "Die diffuse Zerstreuung des Lichtes an kleinen Kugeln". — In: "Anz. Akad. Wiss." (Vienna), 1905, p. 213—214; см. также: "Sitzungsber. Akad. Wiss., Math.-Naturw. Kl." (Vienna), 114, 1905, p. 1115—1141.

(d) "Die Brownsche Molekularbewegung in Gasen." — In: "Anz. Akad. Wiss." (Vienna), 5, 1907, p. 72—73.

(e) "Über eine der Brownschen Molekularbewegung (etc.)". — In: "Sitzungsber. Akad. Wiss., Math.-Naturw. Kl." (Vienna), 116, 1907, p. 1139—1149; датировано 11 июля 1907 г.

(f) "Über kolloidales Quecksilber". — In: "Anz. Akad. Wiss." (Vienna), 25, 1908, p. 513—514.

(g) "Eine Methode zur Messung der elektrischen Ladung kleiner Teilchen zur Bestimmung des elektrischen Elementarquantums". — In: "Anz. Akad. Wiss." (Vienna), 7, 1909, p. 72; датировано 4 марта 1909 г.

(h) "Eine Methode zur Bestimmung des elektrischen Elementarquantums, I". — In: "Sitzungsber. Akad. Wiss. Math.-Naturw. Kl." (Vienna), 118, 1909, p. 321—330; датировано 18 марта 1909 г., номинально опубликована 1 мая 1909 г.

(i) То же название в: "Phys. Zs.", 10, 1909, p. 308—310; статья получена 10 апреля 1909 г., номинально опубликована 1 мая 1909 г. (следующая публикация была годом позже — см. прим. 108.)

Маловероятно, чтобы Милликену эти статьи были легко до-

ступны — отчасти из-за того, что они могли публиковаться с поддержкой. Однажды Милликен и сам мимоходом намекнул на это [цит. соч. (прим. 68), p. 598]: ссылаясь на статью в "Sitzungsber. Akad. Wiss., Math.-Naturw. Kl." (Vienna), датированную 12 мая 1910 г., он добавляет: «Но эта публикация, по-видимому, не появилась до декабря 1910 г.; во всяком случае, до этого срока она не отмечена в "Naturae Novitates"». Объявления в издании "Anzeiger" томов "Sitzungsber. Akad. Wiss., Math.-Naturw. Kl." (Vienna) также подтверждают наблюдения Милликена относительно таких задержек.

77. Там же (g).

78. Там же (h).

79. Там же (g), (h) и (i).

80. Там же (h), с. 330; и (i), с. 310.

Весь том 118 «Sitzungsberichte» хорошо показывает характер и интенсивность исследований, проводившихся в Австрии около 1909 г., и индивидуальные взаимоотношения между отдельными исследователями, связанными с данным делом. Ф. Франк дал прекрасное педагогическое изложение теории относительности, основанное на работах Эйнштейна и Минковского. А. Лампа написал о взаимодействии света с коллоидными суспензиями золота, в значительной степени опираясь на результаты Хазенёра (1902) и Эренхафта (1903). Прибрам в работе, следующей непосредственно за статьей Эренхафта, изучал подвижность ионов большого числа паров и, между прочим, принял значение $e = 4,65 \times 10^{-10}$ эл.-ст. ед. Давнишний интерес австрийских физиков к «атмосферному электричеству», помимо этой работы, породил пять более обширных статей на данную тему, например № 30, написанную К. В. Ф. Кольраушем, и № 31 — Э. фон Швейдлером. В этой общей работе принимали участие многие другие, включая Виктора Гесса. В другой работе я собираюсь показать, какую роль сыграла эта довольно прозаическая на вид деятельность в неожиданном открытии космических лучей, сделанном в течение двух последующих лет.

81. И не только в программу, но и в сообщении о конференции, опубликованное Британской ассоциацией содействия развитию науки (B.A.A.S.) в 1910 г.

82. О конференции и о самом Милликене кое-что сообщается в его письме к своей жене Грете (Архив Милликена, Калифорнийский технологический институт):

«Понедельник, 30 августа
1909 г.

Дорогая Грета,

сейчас 5.30 вечера, а весь день я присутствовал на заседаниях. Когда я пришел с конференции в официальное почтовое отделение ассоциации, меня здесь ожидало чудесное письмо. Крю пригласил меня пообедать с ним сегодня в шесть в отеле «Ройял Александра», так что у меня есть лишь минута, чтобы сказать тебе, как я тебя люблю, потому что до отеля отсюда не меньше 15 минут на трам [вае]. Если мы завершим [сегодня] наши заседания, я уеду отсюда завтра в 5.30 и буду дома в среду в 10.30 вечера. Однако маловероятно, чтобы мне удалось уехать до завтрашнего вечера. Я отсутствую дольше, чем собирался, правда, милая? Но эта конфе-

рeнция кажется мне очень полезной. Я еще не доложил о своих результатах и не знаю, удастся ли мне это сделать. Однако если завтра мне дадут такую возможность, то я готов. Сегодня утром я сделал несколько диапозитивов, так что доложить можно будет очень быстро. Спокойной ночи, милая, я скоро вернусь. Передай поцелуи детишкам, а дюжина из них — тебе.

Твой Роберт».

83. "Report of the Seventy-ninth Meeting of the British Association for the Advancement of Science, Winnipeg, 1909". London: John Murray, 1910.

84. Там же, с. 374—385. Вскоре доклад Резерфорда был перепечатан в «Phys. Zs.», 10, 1909, p. 762—771, под название «Die neuesten Fortschritte der Atomistik» («Новейшие успехи атомистики»). Милликен, вероятно, был в числе слышавших этот доклад, и он упоминает о нем в своем описании конференции в книге «The Electron», p. 75.

85. Rutherford E. Op. cit., прим. 55.

86. Rutherford E. Op. cit. (прим. 84), p. 375, 381 и 385-
(курсив мой).

87. Там же, с. 376.

88. Там же, с. 379, 380.

89. Там же, с. 381.

90. Там же.

91. "Autobiography", p. 75.

92. Вскоре результат был опубликован одним из учеников Лармора. См.: Cunningham E. Proceedings of the Royal Society. London, 83, 1910, p. 135. Здесь имеются также две ссылки на новые результаты Милликена.

93. Милликен сообщает об этом в «Автобиографии» (с. 75). Несколько иное описание рождения идеи использовать масло или ртуть вместо воды и спирта позднее было дано сотрудником Милликена Гарви Флетчером. См.: «Harvey Fletcher. Autobiography Notes», переписку Флетчера и запись (69 страниц) интервью, проведенного Верном Кнудсеном 15 мая 1964 г. в Центре истории физики Американского института физики (Нью-Йорк).

94. Millikan R. A. A New Modification of the Cloud Method of Measuring the Elementary Electrical Charge, and the Most Probable Value of That Charge. — In: "Phys. Rev.", 29, 1909, p. 560—561 — реферат сообщения, сделанного 23 октября на собрании Американского физического общества в Принстоне.

95. Millikan R. A. Op. cit. (прим. 6).

96. Там же, с. 227.

97. Там же.

98. Ehrenhaft F. Op. cit. (прим. 76 — (i); См. также: Millikan R. A. Op. cit. (прим. 6), p. 226. Возражения Милликена были таковы: а) в методе Эренхафта закон Стокса без модификаций применялся к очень малым частицам, сферичность которых сомнительна; б) важные измерения скорости выполнялись не на одной и той же частице, а были средними по наблюдениям большого числа частиц, скорости которых могли сильно различаться; в) вызывает сомнения способ определения радиусов; (d) никак не учитывалась возможность того, что некоторые частицы могут нести по несколько единиц заряда.

Когда полемика разгорелась, появились дополнительные, еще более серьезные оговорки, например трудность определения плотности частиц металла и влияние броуновского движения, затрудняющего выполнение измерения. См.: Fletcher H. A verification of the Theory of Brownian Movements and a Direct Determination of the Value of N_e for Gaseous Ionization. — In: "Phys. Rev.", 33, 1911, p. 107—110; Millikan R. A. and Fletcher H. Ursachen der scheinbaren Unstimmigkeiten zwischen neuen Arbeiten über e . — In: "Phys. Zs.", 12, 1911, p. 161—163; Millikan R. A. The Isolation of an Ion, a Precision Measurement of Its Charge, and the Correction of Stokes Law. — In: "Phys. Rev.", 32, 1911, p. 392—396; Millikan R. A. Op. cit. (прим. 68), p. 595—625, что во многом повторяется в главе 8 книги «The Electron».

Эренхафт энергично опровергал эту и всякую другую критику в многочисленных и обширных публикациях: см., например, "Über die Quanten der Elektrizität". — In: "Sitzungsber. Akad. Wiss., Math.-Naturw. Kl." (Vienna), 123, 1914, p. 53—132. В них обычно сообщались и новые результаты, в том числе даже в его последней большой статье на эту тему: «The Microcoulomb Experiment». — In: «Phil. Sci.», 8, 1941, p. 403—457.

99. Millikan R. A. Op. cit., (прим. 6), p. 220.

100. Там же.

101. Там же.

102. Там же, с. 219.

103. Там же, с. 224. Этот вопрос продолжал заботить Милликена, и в течение последующих лет он усовершенствовал вывод закона Стокса, например в своей следующей работе (цит. соч., прим. 38) и в своем докладе в 1912 г. на конференции В.А.А.С. в Данди.

Здесь, конечно, особенно хотелось бы получить доступ к лабораторным журналам Милликена 1909 г. с данными его работ этого периода. Они могли бы помочь нам увидеть, как структура его представлений относительно природы электрического заряда помогала ему решать, какие из наблюдений основаны на сущности явления, а какие нет.

104. Там же.

105. Heilbron J. and Kuhn T. Op. cit., (прим. 66), p. 266. В статье Бора "On the Constitution of Atoms and Molecules" ("Phil. Mag.", 26, 1913, p. 5) отвергается значение $e=4,65 \times 10^{-10}$ эл.-ст. ед., полученное Резерфордом и Гейгером (1908), и «принимается милликейовское значение $e...$ ». Это улучшило вычисление константы Ридберга, проведенное Бором, уменьшив различие между результатом и спектроскопическим значением этой величины с 7% (в его предыдущей работе) до 1%. Фактически Бор принимает $e=4,7 \times 10^{-10}$ эл.-ст. ед., не ссылаясь на источник; но это эквивалентно милликейовскому значению $4,69 \times 10^{-10}$ эл.-ст. ед., данному в его статьях в «Phys. Rev.» (1909) и «Phil. Mag.» (1910) (op. cit., прим. 5 и 6 соответственно).

Милликейовское значение e изменялось с продолжением его работы. В публикации в «Science» (1910) оно стало равным $4,9016 \times 10^{-10}$ «с точностью не ниже 1/2%». К 1911 г. оно было $4,891 \times 10^{-10}$ эл.-ст. ед., а в большой статье в «Phys. Rev.» 1913 г. стало равно $4,774 \times 10^{-10}$ эл.-ст. ед. — значение, на котором Милликен

смог наконец остановиться, даже вплоть до переиздания в 1924 г. своей книги «The Electron» (р. 120). В 1912—1913 гг. Бор уже хорошо знал, какого значения придерживаться.

106. Ср.: Fletcher H. Einige Beiträge zur Theorie der Brownschen Bewegung mit experimentellen Anwendungen. — In: “Phys. Zs.”, 12, 1911, p. 202—208; Fletcher H. Op. cit. (прим. 98), p. 81—110. Ограниченность объема нашей работы не позволяет углубиться в данный вопрос, но с этим обстоятельством несколько примиряет тот факт, что и сам Милликен, по-видимому, не был глубоко вовлечен в исследования Флетчера.

107. Краткий, односторонний, реферат этого сообщения Милликена (от 23 апреля 1910 г.) был опубликован в июле: “The Isolation of an Ion and a Precision Measurement of Its Charge”. — In: “Phys. Rev.”, 31, 1910, p. 92. Более обширный, но тоже «сокращенный вариант» доклада был опубликован 30 сентября 1910 г. (op. cit., прим. 38), с. 436—448; вскоре затем он был перепечатан (в декабре) по-немецки: “Das Isolieren eines Ions, eine genaue Messung der daran gebundenen Elektrizitätsmenge und die Korrektion des Stokesschen Gesetzes”. — In: “Phys. Zz.”, 11, 1910, p. 1097—1109, и по-французски: “Obtention d’un ion isolé, mesure précise de sa charge; correction à la loi de Stokes”. — “Le Radium”, 7, 1910, p. 345—350 (в сокращении). Здесь Милликен пишет, что они с Флетчером «с декабря [1909 г.] по май [1910 г.] исследовали таким образом от одной до двухсот капель с первоначальными зарядами в пределах от 1 до 150». Использовались падающие и поднимающиеся капли; значения e вычислялись для каждой капли и для каждого опыта отдельно; максимальная напряженность электрического поля теперь была вдвое больше. Но лишь на одной из 11 капель, относительно которых приведены данные, обнаружен единичный заряд.

108. Ehrenhaft F. Über die kleinsten messbaren Elektrizitätsmengen. Zweite vorläufige Mitteilung der Methode zur Bestimmung des elektrischen Elementarquantums. — “Anz. Akad. Wiss.” (Vienna), № 10, April 21, 1910, p. 118—119.

Спустя неделю в «Anzeiger», № 11 (28 апреля 1910, p. 175—176) младший коллега Эренхафта К. Прибрам кратко и в основном качественно сообщает о повторении опыта Милликена с каплями воды. Он признает, что получил в значительной мере аналогичные результаты, но добавляет в последней несколько двусмысленной фразе: «Некоторые наблюдавшиеся до сих пор меньшие значения, т. е. меньшие e (которые он принимает равным примерно $3,5 \times 10^{-10}$ эл.-ст. ед.), представляются — в пределах точности измерений — подтверждающими заключение Эренхафта о том, что отклонение от средних значений, а именно от 3×10^{-10} , ввиз значительно превышает погрешность эксперимента» (p. 176).

109. Там же.

110. Ehrenhaft F. Über die Messung von Elektrizitätsmengen, die Ladung des einwertigen Wasserstoffions oder Elektrons zu unterschreiten scheinen. Zweite vorläufige Mitteilung seiner Methode zur Bestimmung des elektrischen Elementarquantums. — In: “Anz. Akad. Wiss.” (Vienna), № 13, May, 12, 1910, p. 215. Полностью статья появилась 12 мая 1910 г. в выпуске “Sitzungsber. Akad. Wiss., Math.-Naturw. Kl.” (Vienna), 119, 1910, p. 815—866, под на-

званием "Über die Messung von Elektrizitätsmengen, die kleiner zu sein scheinen als die Ladung des einwertigen Wasserstoffions oder Elektrons und von dessen Vielfachen abweichen". Почти тот же материал содержится в "Über eine neue Methode zur Messung von Elektrizitätsmengen an Einzelteilchen, deren Ladungen die Ladung des Elektrons erheblich unterschreiten und auch von dessen Vielfachen abzuweichen scheinen".—In: "Phys. Zs.", 11, 1910, p. 619—630 (получено 23 мая 1910 г.). См. выше, прим. 76, мнение Милликена о сроках фактической публикации.

111. Это предположение, по-видимому, не выполняется даже по порядку величины: см.: Fletcher H. Op. cit. (прим. 98), p. 108 и далее.

112. См.: Ehrenhaft F. Sitzungsberichte. Op. cit., (прим. 110), p. 866, и "Phys. Zs.", op. cit. (прим. 110), p. 630. См. также: Ehrenhaft F. Über eine neue Methode zur Messung von Elektrizitätsmengen, die kleiner zu sein scheinen als die Ladung des einwertigen Wasserstoffions oder Elektrons und von dessen Vielfachen abweichen. — In: "Phys. Zs.", 11, 1910, p. 940—952 (где Эренхафт заявляет, что заменит закон Стокса «полностью эмпирическими формулами»), и статьи К. Прибрама начиная с 1910 г. в "Anzeiger", "Sitzungsberichte" и "Phys. Zs."

113. Ehrenhaft F. Sitzungsberichte. Op. cit. (прим. 110). Эренхафт показал, что у Милликена его метод обработки данных приводил к парадоксальным ситуациям. Капля с зарядом $q=15,59 \times 10^{-10}$ эл.-ст. ед. была отнесена к тем, которые считались переносящими три электрона, в то время как другая, с зарядом $q=15,33 \times 10^{-10}$ эл.-ст. ед., — к тем, которые считались переносящими четыре электрона.

114. Рисунок из работы Эренхафта, цит. соч. (прим. 110), табл. 1. (По оси абсцисс — заряд в единицах 10^{-10} эл.-ст. ед.)

115. Когда же такие данные вскоре начали появляться, они говорили в пользу точки зрения Милликена. Rogener E. Über Ladungsbestimmungen an Nebelteilchen. (Zur Frage nach der Größe des elektrischen Elementarquantums. — In: "Phys. Zs.", 12, 1911, p. 135—141; Pohl R. Bericht über die Methoden zur Bestimmung des elektrischen Elementarquantums. — In: "Jahrbuch der Radioaktivität und Elektronik", 8, 1911, p. 406; Joffé A. Zu den Abhandlungen von F. Ehrenhaft: "Über die Frage nach der atomistischen Konstitution der Elektrizität".—In: "Phys. Zs.", 12, 1911, p. 268; Mc Keehan L. M. Die Endgeschwindigkeit des Falles kleiner Kugeln in Luft bei verminderten Druck. — In: "Phys. Zs.", 12, 1911, p. 707—721.

Еще более важная поддержка взглядов Милликена относительно квантов заряда пришла с Сольвеевского конгресса 1911 г. (Langevin P. and Broglie M. de (eds.). La Théorie du Rayonnement et les Quanta. Paris: Gauthier-Villars, 1912, в особенности p. 149, 150, 233—237, 251, 252). В поддержку результатов Милликена выступали Варбург, Рубенс, Вин, Эйпштейн и особенно Перрен. Перрен сообщил об этих взглядах широкой публике в своей книге «Les Atomes» (Paris, 1913 и последующие издания).

С другой стороны, те, кто поддерживал Эренхафта, относились в основном к кругу его учеников и сотрудников в Вене, например Д. Константиновский, Ф. Цернер, Г. Ласки, И. Паран-

кевич. К. Прибрам (ср. прим. 108) оказался в затруднительном положении. Будучи хорошим исследователем, он обнаружил, что его данные использует то одна, то другая сторона. На Сольвеевском конгрессе 1911 г. (Langevin P. and Broglie M: de. Op. cit., p. 252) Хазенёрль сообщил, что Прибрам не присоединился к заключению Эренхафта относительно e ; подобно этому, и письма Прибрама Милликену из архивов Калтеха (от 5 ноября и 10 декабря 1912 г.) показывают, что он тогда был готов принять результаты и метод Милликена, и заикаются словами: «Меня очень радует, что мои исследования в этой области, пачавшиеся со столь прискорбной ошибки, находятся наконец в полном согласии с Вашей образцовой работой».

116. До публикации Милликен обсуждал свою работу 24 мая 1910 г. на собрании в Чикаго. А 25 мая того же года небольшая заметка о ней («Содержание доклада»), похожая на стенограмму выступления, была опубликована в газете «The Daily Maroon» Чикагского университета под обширным заголовком — «Милликен сделал великое научное открытие. Экстраординарному профессору физического факультета удалось изолировать отдельный ион. Он держит его под наблюдением. Доказана справедливость кинетической теории вещества — результат четырех лет исследований». Другие газеты также поместили сокращенные изложения этого выступления: «Секреты электричества наконец установлены. Профессор Милликен из Чикагского университета доказал, что старые теории, развитые уже давно, будут очень полезны...» («Chicago Daily Tribune» от 25 мая 1910 г.); «Электричество понято. Вековая проблема решена...» («Chicago Record-Herald» от 25 мая 1910 г.); «Доказана теория электрических ионов... Подтверждена кинетическая теория» («The New York Times» от 25 мая 1910 г.); «Люди электричества воздают хвалу Милликену [sic]. Они думают, что изучение отдельного иона много сделает для развития науки» («Chicago Inter Ocean» от 26 мая 1910 г.). В последней из этих статей цитировались высказывания «специалистов по электричеству», которые, однако, не могли предвидеть в этом открытии никаких практических приложений: «...один из специалистов по электричеству сказал: «Я не вижу, что открытие иона может как-то повлиять на использование электричества...» Л. Т. Робинсон из Скенектеди, возглавляющий один из крупнейших электрических концернов в мире, говорит, что он знаком с профессором Милликеном и что, раз Милликен говорит, что открыл ион, значит, он верит ему. Но он думает, что это открытие принесет пользу только науке».

Развитие своих идей о методе масляных капель Милликен обсуждал в статье «Единица заряда при ионизации газов», опубликованной в «Transactions of the American Electrochemical Society», 18, 1910, p. 283—288. См. также неопубликованные записи лекций Милликена, прочитанных летом 1910 г. (папка 1.15 архива Милликена при Калифорнийском технологическом институте).

117. Millikan R. A. Op. cit. (прим. 107).

118. Эта и следующая цитаты — из Милликена, цит. соч. (прим. 6), с. 436. Курсив мой.

119. Там же, с. 440.

120. В более развернутом сообщении Милликена об этой же

работе (цит. соч., прим. 98) добавляется: «Пока мы не удалили пыль [из камеры наблюдения], мы обнаруживали на многих каплях эти меньшие значения $e_{1\dots}$ » (р. 376).

121. В варианте 1911 г. (цит. соч., прим 98) Милликен отбрасывает только 8 из дополнительных капель, а не 10, но дает то же объяснение (р. 382). См. также: Millikan R. A. и Fletcher E. *Op. cit.* (прим. 98), р. 161—163.

122. Millikan R. A. On the Elementary Electrical Charge and the Avogadro Constant. — In: «Phys. Rev.», 2, 1913, р. 109—143 (закончено 2 июня 1913 г.). В книге «The Electron» (р. 106) он упоминает о тех же самых результатах, которые были «доложены сперва Немецкому физическому обществу в июне 1912 г., а затем Британской ассоциации в Данди — в сентябре 1912 г.».

123. Там же («Phys. Rev.», 2, 1913), р. 139. Погрешность значения e , указанная в конце работы, составляет «2 из 1000», с $e = 4,774 \pm 0,009 \times 10^{-10}$ эл.-ст. ед.

Схема вычисления e в терминах, которыми пользовался и Милликен, имеет следующий вид:

v_1 — постоянная скорость падения капли под действием силы тяжести (mg), уравновешенной вязким трением, величина которого дается (без модификаций) законом Стокса ($6\pi\eta av_1$).

v_2 — постоянная скорость подъема, когда капля, несущая заряд (q), обусловленный трением, поднимается в электрическом поле E .

Следовательно,

$$\begin{aligned} \frac{v_1}{v_2} &= \frac{mg}{Eq - mg}, \text{ и } q = \frac{mg}{E} (v_1 + v_2) v_1^{-1} = \\ &= \frac{\left(\frac{4}{3}\right) \pi a^3 \delta g}{E} (v_1 + v_2) v_1^{-1}. \end{aligned}$$

Подстановка a^3 из закона Стокса дает

$$q = \frac{4}{3} \pi \left(\frac{9\mu}{2g}\right)^{3/2} \delta^{-1/2} \cdot \frac{g}{E} (v_1 + v_2) v_1^{1/2}.$$

Значит, если заряд q квантован, $e_{\text{frict}} = q/n$, или

$$e_{\text{frict}} \propto \left(\frac{v_1 + v_2}{n}\right).$$

Аналогичным образом вычисляем заряд, пойманный ионами между последовательными подъемами:

$$e_{\text{ionic}} = \frac{q_{n'} - q_n}{n'} = \frac{mg}{E} \left(\frac{v_2' - v_2}{n'}\right) \cdot v_1^{-1}$$

или

$$e_{\text{ionic}} \propto \left(\frac{v_2' - v_2}{n'}\right).$$

Для того чтобы учесть нарушение закона Стокса для малых наблюдаемых скоростей v_1 , положим

$$\frac{v_1}{(1 + Al/a)} = \frac{2ga^2\delta}{9\mu}$$

Но поскольку $e \propto v_1^{3/2}$, «истинное» значение e есть

$$e = \frac{e_1(\text{«наблюдаемое»})}{(1 + Al/a)^{3/2}}$$

Таким образом, получаем e , построив зависимость $e_1^{2/3}$ от l/a для многих опытов и находя отрезок, отсекаемый на оси ординат, т. е. $e_1^{2/3}$ при $l/a=0$.

124. Или, точнее говоря, отклоняется от прямой линии на графике зависимости $e_1^{2/3}$ от l/a или $1/pa$, где l — средняя длина свободного пробега, a — радиус капельки, p — давление в камере.

125. "The Electron", p. 106.

126. Эти протоколы — из архива Милликена (папки 3.3 и 3.4 с надписями «Опыт с масляными каплями, Р. Э. Милликен» на обложках).

127. За этим пунктом следует другой, внесенный позже, — второе определение, «сделанное Л. Дж. Лассалем, 10/31/11». Милликен довольно часто отмечает участие своих студентов в экспериментах; и не случайно поэтому, что в лабораторных журналах не все записи сделаны почерком Милликена.

128. Другой пример такого рода, основанный на анализе, проведенном Р. Бэрмом («Naturwissenschaften», 10, 1922, p. 344—345), показывает, насколько важно было вовремя обнаруживать, когда измерения разностей потенциалов были неточными из-за изменения напряжения батарей, изменения калибровки и т. д. Таким образом, отношение последовательно наблюдававшихся зарядов на капельке n_1/n_2 будет равно обратному соотношению соответствующих разностей потенциалов, необходимых для того, чтобы удерживать ее в поле тяжести ($1/V_1:1/V_2$). Поэтому $n_1/n_2=V_2/V_1$. Например, если в эксперименте $V_1=47,5$ вольт и $V_2=71,1$ вольт, то $n_1:n_2=71,1:47,5$ или (с точностью около двух к тысяче) 3:2. Такой результат будет убедительно свидетельствовать в пользу гипотезы, что капельки заряжены целыми кратными одного фундаментального заряда. Но если из-за погрешности относительная ошибка V_1 или V_2 составит всего 1%, то все будет выглядеть совсем иначе. Так, если V_1 считать равным 47,0 вольт, отношение n_1 к n_2 будет 71,1:47,0, а ближайшее к этому отношению целых чисел 711:470, что ни в коем случае не является убедительным доказательством квантования заряда, а, наоборот, свидетельствует о том, что единица заряда гораздо меньше, чем заряд электрона.

129. Несмотря на очевидные различия, я употребляю эти слова в смысле, близком к тому, в каком Кольридж использовал их в «Литературной биографии» (1817 г.), описывая работу воображения писателя. См. также письма Джона Китса от 28 декабря 1817 г. и 19 марта 1819 г.

Пример описания в литературе места, которое «вера» занимает в научной работе, см.: Born M. Natural Philosophy of Cause and Chance. Oxford University Press, 1951, p. 123, 290.

130. Popper K. Autobiography. — In: Schilpp P. A. (ed.). The Philosophy of Karl Popper. LaSalle, Ill.: Open Court Publ. Co., 1974, p. 29. Из работ, критикующих теорию фальсификации, см., например: Nagel E. What Is True and False in Science? — In: "Encounter", 29, September 1967, p. 68—70.

131. В решении о присуждении Нобелевской премии по физике 1923 г. об измерении Милликиеном элементарного заряда говорится весьма подробно, тогда как упоминание об исследовании фотоэлектрического эффекта ограничено лишь последним абзацем. Тем не менее председатель комитета по присуждению Нобелевских премий по физике сообщил, что его работа помогла принять не одно, а три решения: «Не вдаваясь в детали, я скажу только, что, если бы эти исследования Милликена дали иные результаты, закон Эйнштейна лишился бы ценности, а теория Бора — подтверждения. После результатов Милликена оба они были награждены Нобелевской премией по физике в прошлом году» (Gullstrand E. Nobel Lectures: Physics 1922—1941 [Amsterdam: Elsevier Publishing Co., 1965], p. 53).

132. Millikan R. A. A Direct Photoelectric Determination of Planck's "h". — In: "Phys. Rev.", 7, 1916, p. 384. Хорошее краткое обсуждение этого эпизода см.: Stuewer R. H. The Compton Effect: Turning Points in Physics. New York: Science History Publications, 1975, p. 72—77. Интересные материалы об отношении Милликена и других в Соединенных Штатах к квантовой теории см.: Sopka K. R. Quantum Physics in America, 1920—1935 (Ph. D. Dissertation, Harvard University, 1976).

133. Millikan R. A. Op. cit. (прим. 34), p. 61—62. Даже в 1920 г. Милликен все еще не был убежден в квантовой теории света: «Испускание электромагнитного излучения, возможно, происходит, а возможно, и не происходит отдельными квантами» («Science», 51, 1920, p. 505). В докладе в декабре 1912 г., в котором он заявил, что «последним из противников атомистического представления о веществе пришлось умолкнуть», он настаивал на некотором компромиссе, который позволил бы обойтись без фотона. «То, что мы когда-либо вернемся к корпускулярной теории излучения, я считаю совершенно невыносимым». Аналогично сказано об эфире: «Отрицание того, что эта среда существует... это софистика...» (Millikan R. A. Atomic Theories of Radiation. — In: "Science", 37, 1913, p. 133). Милликен, несомненно, был способен принимать противоположные темы в различных областях своих исследований, и он мог преодолевать глубоко укоренившиеся тематические гипотезы, когда данные эксперимента нельзя было согласовать с ними.

134. Ehrenhaft F. Über eine neue Methode zur Messung von Elektrizitätsmengen, die kleiner zu sein scheinen als die Ladung des einwertigen Wasserstoffs oder Elektrons und von dessen Vielfachen abweichen. — In: "Phys. Zs.", 11, 1910, p. 940—952. В статье содержится стенограмма дискуссии по работе, когда вопросы задавали разные физики.

С апреля 1910 г. по март 1911 г. Эренхафт и Прибрам выпустили в свет следующие публикации, хотя они в значительной степени перекрывались между собой:

Ehrenhaft F.: "Anz. Akad. Wiss." (Vienna), № 10, April 21, 1910, op. cit. (прим. 108); "Anz. Akad. Wiss." (Vienna), № 13, May 12, 1910, op. cit. (прим. 110); "Sitzungsber. Akad. Wiss." (Vienna), 119, 1910, op. cit. (прим. 110); "Phys. Zs.", 11, 1910, op. cit. (прим. 110); "Phys. Zs.", 11, 1910, p. 940—952; "Phys. Zs.", 12, 1911, p. 94—102; "Phys. Zs.", 12, 1911, p. 261—268.

Pribram K.: "Anz. Akad. Wiss." (Vienna), № 11, April 28, 1910, op. cit. (прим. 108); "Anz. Akad. Wiss." (Vienna), № 17, June 30, 1910, p. 262; "Sitzungsber. Akad. Wiss." (Vienna), 119, 1910, p. 869—935; "Phys. Zs.", 11, 1910, p. 630—632; "Sitzungsber. Akad. Wiss." (Vienna), 119, 1910, p. 1719—1753; "Phys. Zs.", 12, 1911, p. 260—261.

135. Там же, первая ссылка.

136. Это ни в коем случае не означает, что Милликен был небрежен или неряшлив. Наоборот, там, где высокая точность была важна и необходима, он настаивал на ней. Например, он знал, что точное измерение разностей потенциалов имело решающее значение. См.: B ä r R. Op. cit. (прим. 128).

137. Millikan R. A. Op. cit. (прим. 34), p. 57—58.

138. Ehrenhaft F. Op. cit., (прим. 76 (i)).

139. Там же (прим. 108).

140. Там же (прим. 110).

141. Там же (статья в «Sitzungsberichte»).

142. Там же (статья в «Phys. Zs.»), p. 619.

143. Там же (прим. 134), с. 946.

144. Там же (прим. 98) (статья в «Sitzungsberichte»).

145. Там же, с. 55.

146. B ä r R. Op. cit. (прим. 128).

147. Schlick M. Op. cit. (прим. 23).

148. Ehrenhaft F. Ernst Mach's Stellung im wissenschaftlichen Leben. — In: "Neue Freie Presse" (Vienna). Supplement, 12. June 1926, p. 12.

149. Эренхафт и его оставшиеся последователи иногда возобновляли дискуссию, и в этих случаях ставили вопрос в столь же угрожающем тоне. Еще в 1934 г. Альфред Штейн, доцент Венского университета, дал обзор вопроса вместе с еще одним набором экспериментов Эренхафта под заголовком «Конец атомизма?» («Das Ende des Atomismus?») и подзаголовком «Эренхафт потрясает основы мироздания» («Ehrenhaft erschüttert den Aufbau der Welt»). «Во всяком случае, — заключил он, — борьба за заряд электрона все еще не завершена; это война с тяжелыми последствиями, от исхода которой зависит существование современной физики...» («Wiener Zeitung», Beilage, 19 August 1934, p. 3).

150. Ehrenhaft F. Op. cit. (прим. 108 и 110).

151. Письмо Лампы к Маху, в архиве Эрнста Маха (Фрейбург).

152. Имеется в виду: Planck M. Acht Vorlesungen über theoretische Physik, Leipzig, 1910.

153. Процесс заполнения вакансии продолжал тянуться. Между тем в «Phys. Zs.», 11 (15 июня 1910 г., p. 552) появилось сообщение, что вакантный пост в Праге было предложено занять Эйштейну.

154. В частности, у «монистов» работа Перрена вызвала ликование: так, Жак Лоэб совершенно определенно связал свой знаменитый очерк «Механистическое представление о жизни» (1911) с данным Перреном доказательством существования молекул как с окончательным подтверждением механистической философии.

155. Лампа также предпринял попытку описать работу Эренхафта в популярном журнале, выходившем два раза в месяц, — "Das Wissen für Alle", 11, 1911, p. 45—47.

VII. ГРУППА ФЕРМИ И ВОЗВРАЩЕНИЕ ИТАЛИЕЙ СВОЕГО МЕСТА В ФИЗИКЕ *

Поворотные точки современной истории напоминают подчас мифологические события. Нечто в этом роде как раз и произошло одним октябрьским утром 1934 г. в Риме, в помещении на верхнем этаже дома 89А по Виа Панисперна, где находилась старая физическая лаборатория Римского университета. Именно здесь Энрико Ферми и его молодые сотрудники, к своему немалому изумлению, обнаружили фундаментальный физический эффект, открытие которого сегодня можно с полным правом считать истинным началом ядерного века. Его суть состояла в том, что нейтронный пучок, предварительно замедленный посредством пропускания через подходящий поглотитель, например парафин, мог возбуждать ядра атомов вещества мишени, делая их нестабильными. Через много лет Ферми описал этот «момент рождения» в беседе со знаменитым астрофизиком С. Чандрасекаром:

«Я расскажу вам, как я пришел к открытию, которое, думаю, по своей важности превосходит все мною сделанное. Мы напряженно работали над изучением радиоактивности, индуцированной нейтронами, получая при этом совершенно бессмысленные результаты. Придя однажды в лабораторию, я подумал, что стоит попробовать посмотреть, что получится, если на пути нейтронного пучка поместить свинец. Причем на этот раз я позаботился, чтобы свинцовая пластинка в противоположность обыкновенно была тщательно изготовлена. Я был тогда сильно разочарован всем происходящим в лаборатории и пользовался поэтому любым предлогом, чтобы только отсрочить

* Holton G. The Scientific Imagination: Case Studies. Cambridge University Press, 1978, p. 155—198 и 334—348.

установку пластинки на ее место. Когда же, поколебавшись, я все-таки собрался это проделать, то вдруг решил: «Нет, свинец здесь ни к чему, мне нужен парафин». Вот так примерно все и произошло — без глубоких раздумий и тщательного предварительного анализа. Я сразу же взял какой-то ненужный кусок парафина и поместил его на место свинцовой пластинки»¹.

Как физик, Ферми воплощал в себе скорее аполлоновское, чем дионисовское начало*. Спонтанное осуществление эксперимента с замедлением нейтронов, вероятно, в методологическом плане было уникальным эпизодом его научной деятельности. Но именно так было открыто то, что Сегре назвал «волшебными последствиями парафиновой фильтрации»², имея в виду резкое увеличение индуцированной радиоактивности серебряного цилиндрика, служившего мишенью для пучка замедленных нейтронов.

По воспоминаниям Сегре и других членов группы, Ферми понадобилось лишь несколько часов, чтобы догадаться, как и почему это происходит. Отсюда начинается цепная реакция непредвидимых, но почти неизбежных последствий сделанного открытия. Наиболее прямо оно отразилось на работе самой группы Ферми, а тем самым — и на преобразовании физической науки как в Италии, так и вне ее. В конце концов оно имело своим результатом присуждение Ферми Нобелевской премии по физике, о чем было объявлено 10 декабря 1938 г. Как сказано в официальном постановлении Шведской академии, Ферми был награжден «за доказательство существования новых элементов, возникающих при нейтронном облучении, и за сделанное в связи с этими исследованиями открытие ядерных реакций, происходящих под действием медленных нейтронов». Менее чем через две недели после вручения премии Отто Ган и Фритц Штрассман отправили в «Die Naturwissenschaften» свою статью, в которой описывалось обнаружение бария в урановом образце, подвергнутом облучению нейтронами, замедленными согласно методу Ферми³. Как быстро поняли Отто Фриш и Лиза Мейтнер, это открытие

* Аполлоновское начало воплощает разум и гармонию, а дионисовское символизирует спонтанность и неудержимость стихийного порыва. См. в связи с этим работу автора: Holton G. Dionysians, Apollonians, and the Scientific Imagination. — In: Holton G. The Scientific Imagination: Case Studies. Cambridge University Press, 1978, p. 84—110. — *Прим. перев.*

свидетельствовало об очевидной отныне реальности деления ядер урана. А через четыре года уже действовал первый ядерный реактор, сооруженный в Чикаго под непосредственным руководством Ферми, причем в основе его работы лежал тот же принцип замедления нейтронов; на этом реакторе была впервые осуществлена самоподдерживающаяся и контролируемая цепная реакция.

На таком историческом фоне кажется удивительным, что всего полстолетия назад, когда Ферми и другие физики его поколения только начинали свой путь в науке, вся итальянская физика, за очень немногими исключениями, заметно отставала от мирового уровня того времени. Хотя в некоторых научных центрах страны, например в Турине, Неаполе, Падуе, Палермо, Пизе, и проводились интересные исследования⁴, все же не подлежит сомнению, что случившееся в 1934 г. в римской лаборатории Ферми имело решающее значение для того, чтобы итальянская физика достигла своего сегодняшнего положения.

Стоит поэтому суммировать всю имеющую отношение к этому событию информацию, новую или уже представленную во многих литературных источниках, чтобы затем попытаться разглядеть во всем этом сочетании научных, институциональных и личностных связей подлинно основные компоненты, проследив тем самым фокус действия сил, которые привели к столь стимулирующим достижениям. Некоторые стороны рассматриваемой исторической ситуации обусловлены, конечно, уникальностью самой группы Ферми («абсолютно совершенного коллектива», как выразился Оккиалини⁵), постоянными членами которой были Эдоардо Амальди, Оскар Д'Агостино, Франко Разетти, Бруно Понтекорво и Эмилио Сегре; кроме них, с группой были связаны такие «неформальные» участники ее деятельности, как Орсо Марио Корбино*, Этторе Майорана** и Джулио Ч. Трабакки***. Другие аспекты

* Известный итальянский физик и государственный деятель (1876—1937), занимавший в 20—30-е годы пост директора Физического института Римского университета. — *Прим. перев.*

** Выдающийся физик-теоретик, друг Ферми и спорадический участник его семинара, пропавший без вести в 1936 г. — *Прим. перев.*

*** Директор физической лаборатории Института здравоохранения; Ферми использовал предоставленный им радон как источник нейтронов. — *Прим. перев.*

изучаемых событий, однако, специфичны для самой Италии, а некоторые могут характеризовать также и иные страны.

ИСКУССТВО ФЕРМИ КАК ФИЗИКА И НАСТАВНИКА

Во главе любого перечня существенных факторов следует, конечно, поместить научную проницательность Ферми, присущую ему исключительную глубину проникновения в самую сердцевину физических проблем. В этот дар входит и блестящее экспериментальное мастерство Ферми; однако, как нередко отмечалось, его стиль физического экспериментирования был чужд сооружению сложного и громоздкого оборудования в духе его современника Эрнста Лоуренса *. Более того, совершенно ошибочным было бы видеть в лице Ферми по преимуществу экспериментатора: в действительности он вплоть до 1934 г. считал свои экспериментальные исследования чем-то довольно случайным. Он был прежде всего гением теоретической физики, включая и ее математические аспекты. Эта одаренность проявилась очень рано: уже в первых своих научных публикациях (всего их у него было 270), появившихся около 1922 г., он настолько убедительно продемонстрировал свое умение свободно работать с теорией вероятностей и общей теорией относительности, что привлек к себе заметное внимание, будучи еще новичком в науке и имея от роду лишь 21 год.

Ферми интересовался самыми различными областями физики, и его познания были поистине энциклопедическими. Эмилио Сегре называл его «последним физиком-универсалом в традиции великих людей прошлого века»⁶ и «последним человеком, владеющим всей физикой своего времени»⁷. Эта широта интересов позволяла ему воспринимать новые идеи задолго до того, как кто-нибудь еще в Италии обращал на них внимание. Все знавшие Ферми соглашались в том, что он, вероятно, впервые в итальянской физике принял всерьез квантовую механику и занял-

* Знаменитый американский физик, лауреат Нобелевской премии, создатель циклотрона и основатель Радиационной лаборатории в Беркли; его имя стало одним из символов «машинной», крупномасштабной физики. — *Прим. перев.*

ся ее изучением. Эту же его черту характеризует и такое воспоминание Разетти:

«Помню, как однажды пришел свежий номер журнала «Nature» со статьей Резерфорда (имеется в виду работа 1920 г., описывающая первые эксперименты по искусственному расщеплению атомных ядер. — *Дж. Х.*). Я тогда не знал об этом ничего или почти ничего. Вероятно, о существовании ядер мне доводилось слышать, но я был полным профаном по части их устройства. Никому на физическом факультете не пришло бы и в голову обратить внимание на эту статью. Ферми * же заметил ее немедленно, и я вспоминаю, как он обсуждал ее (с самим Разетти и другим своим соучеником — Нелло Каррара. — *Дж. Х.*)»⁸.

Эти широчайшие интересы Ферми были вместе с тем строго организованы, так что поглощаемые им отовсюду новые идеи не рассеивались и не уничтожали друг друга. Все биографы отмечают, что он упорядочивал все необъятное изобилие знания на основе лишь нескольких принципов и «примеров», что позволяло ему осмысливать почти каждую новую проблему в терминах одной из приблизительно семи первичных, или простейших, физических ситуаций. На протяжении всей своей деятельности он постоянно возвращался к упорядочиванию или обдумыванию тех основных физических представлений, которые зародились у него еще во времена студенчества и всегда служили организующей основой его исследований.

Эта убежденность в том, что природа не признает излишеств и устроена весьма экономно, предстает как главный фактор событий 1934 г. Лучшим свидетелем здесь является Амальди⁹. Вместе с Сегре он изучал влияние давления на структуру высших термов в спектрах редкоземельных элементов и наблюдал тот эффект, теория которого была потом построена и опубликована Ферми.

«Мы имели дело с сильно возбужденными электронами, энергия связи которых составляла лишь около одной сотой электрон-вольта, так что электроны были почти свободными, а их длины волн — весьма большими. Чтобы объяснить обнаруженный нами эффект, он построил в этой работе теорию столкновений очень медленных элек-

* Ферми тогда был студентом Нормальной школы в Пизе, где в 1922 г. защитил докторскую диссертацию. — *Прим. перев.*

тронов с атомами. Эта же теория использовалась через полтора года для описания столкновений медленных электронов с атомными ядрами...»¹⁰

Хотя утверждение Амальди, что теория медленных электронов непосредственно вела к теории медленных нейтронов, несколько преувеличено, этот случай служит одной из многих иллюстраций способности Ферми к повторному использованию теоретических результатов для иллюстрации новых и внешне никак не связанных с предыдущими ситуаций.

Однако ключ к пониманию искусства Ферми кроется не в его экспериментальных навыках, не в силе его теоретического проникновения, не в энциклопедичности его познаний и не в его поисках глубинной простоты и экономичности природы, а скорее в очень тонкой уравниваемости всех этих факторов. Хотя общепризнанно, что физики примерно такого же ранга, как Бор, Резерфорд и Эйнштейн, работавшие с начала и до середины нашего века, могли иметь друг перед другом преимущество либо по части способностей к выдвижению принципиально новых фундаментальных теоретических концепций, либо по части экспериментальной интуиции, ни в ком из них эти дарования, обычно проявляющиеся по отдельности, не совмещались столь эффективно, как в Ферми. Современный идеал физических исследований гораздо ближе к стилю Ферми по сравнению с тем, что было характерно для 30-х годов. Отто Фриш так писал о том времени:

«Мадам [Жолио-]Кюри не слишком почитала теорию. Как-то один из ее учеников предложил план эксперимента, добавив, что работающие по соседству теоретики считают его перспективным. На это она ответила: «Что ж, в любом случае стоит попытаться осуществить его». Это пренебрежение теорией стоило им, возможно, открытия нейтрона»¹¹.

Хорошо известны и случаи подобного же высокомерия теоретиков по отношению к работе экспериментаторов. Однако группа Ферми полностью свободна от обвинений в таких грехах.

Ферми отличался от большинства других физиков и в том, что он, в силу как личных склонностей, так и внешних обстоятельств, был самоучкой. Впервые он столкнулся с физикой в 14-летнем возрасте, купив на римском рынке Кампо дей Фьори довольно второразрядную книгу

об этом предмете. Примерно тогда же он подружился с коллегой своего отца инженером Адольфо Амидеи, дававшим ему книги по физике и математике, которые Ферми изучал самостоятельно. К 17 годам он уже смог дойти до основ общей теории относительности. Близкие к нему люди неоднократно подтверждали, что свои главные работы, например по бета-распаду или по статистике, названной позднее статистикой Ферми-Дирака, он выполнил в значительной мере как пробные задачи по приложению и последующей проверке ряда представлений и теорий, самостоятельно изучавшихся им в связи с совершенно другими проблемами¹².

Фактически все коллеги и бывшие ученики Ферми соглашались и в том, что он был непревзойденным наставником, а стиль его преподавания отражал только что обсуждавшиеся нами особенности его личности. Так, его вводный курс по физике охватывал чрезвычайно широкий материал¹³. Еще важнее то, что Ферми во время чтения лекций постоянно размышлял перед своей аудиторией вслух, детально и систематически обсуждая волновавшие его в то время проблемы. Удовольствие, получаемое им от преподавания, позволяет предположить, что последнее было для него источником наиболее тесных человеческих взаимосвязей, а также дополнительной возможностью для самообразования. В сочетании с уже описанными чертами его натуры и с его способностью к творческой самоотдаче это делало Ферми естественным лидером динамичной и продуктивной исследовательской группы, причем не только в годы его работы в Риме, но и позднее, в Соединенных Штатах¹⁴.

О НАУЧНОМ СТИЛЕ ФЕРМИ

Возможно, даже выдающееся мастерство и педагогические способности главы римской группы физиков уступают по важности его методологии, которая, будучи одновременно консервативной и прагматической, управляла как выбором новых проблем, так и проведением исследований. Здесь мы сталкиваемся с совершенно специфическим стилем работы, имевшим решающее значение для успеха всей итальянской группы. В каком-то смысле он характеризует весь комплекс личных качеств и научного опыта самого Ферми в соединении с потребностями и воз-

возможностями физических исследований, существовавших в условиях тогдашних научных институтов и обусловленных также состоянием мировой науки.

Ряд черт этой методологии проступает уже в тех воспоминаниях, которые относятся ко времени учебы Энрико Ферми в Пизе, где в душной и задымленной химической лаборатории он занимался анализом различных веществ. Специально собрав в помощь себе несколько студентов, Ферми как-то отнес один из образцов в физическую лабораторию, чтобы рассмотреть его под микроскопом. Вот что рассказывает об этом Франко Разетти:

«По форме кристаллов мы прежде всего нашли количество ингредиентов, разделив в итоге образец на 3, 4 или 5 отдельных частей... Каждый ингредиент мы разглядывали по отдельности, изучая характер его кристаллов; ведь когда вы знаете, каковы кристаллы по форме — кубические или моноклинные, это уже о чем-то говорит... Затем мы определили цвет каждого ингредиента: у перманганата калия, скажем, цвет оказывается темно-пурпурным, почти черным, кристаллы сульфата меди голубые и так далее. Потом мы решили, что начальство не станет тратить на лабораторные занятия дорогостоящие вещества и потому нечего надеяться найти здесь что-нибудь вроде хлорида галлия... все соли должны принадлежать самым обычным элементам. Посредством таких рассуждений мы в конце концов догадались, чем является каждый ингредиент... А потом отвечавший за эту лабораторию ассистент сказал нам: «Это просто здорово, как вы выполнили анализ, не придерживаясь никаких правил»¹⁵.

Изобретательность и предприимчивость Ферми (и его будущего римского коллеги Разетти) здесь видны прекрасно, равно как видны и его организаторские способности, умение отличать важное от второстепенного, убеждать других в разумности¹⁶ предлагаемых им простых гипотез и самых коротких путей к намеченной цели, даже если они выбирались и «не по правилам», его умение производить реалистические прикидки на качественном уровне, предшествующие точным расчетам, его способность импровизировать и в конечном счете добиваться успеха. Никакие эстетические, философские или квази-метафизические принципы (за исключением разве что принципа простоты) никогда не могли поглотить его внимание или замедлить его исследования¹⁷.

Прагматизм Ферми сказывался в том, что он ставил перед собой лишь разрешимые проблемы, могущие принести ощутимые результаты в разумные сроки, между тем как такая стратегия была чуждой большинству научных центров. Так, Джеймс Чедвик* вспоминал, что поисками нейтронов он занимался в течение 12 лет, с самого начала своей работы в лаборатории Резерфорда в 1920 г. Общий исследовательский фонд Кавендишской лаборатории составлял тогда около двух тысяч фунтов в год, и Чедвик понимал, что он не может рассчитывать на получение или постройку нужного ему оборудования; тем не менее он выжимал из себя все, на что был способен. Вспоминая об этих преждевременных экспериментах, он с несомненной гордостью писал: «Я тратил свое время — но не деньги»¹⁸. В лаборатории, принявшей стратегию итальянской группы, подобного рода длительные эксперименты, проводимые на неподходящем оборудовании, были бы куда менее вероятны.

Другая черта стиля научных исследований, чуждого группе Ферми, обычно связывается с именем Нильса Бора, который во многих отношениях был антиподом Ферми и в свою очередь нередко оценивал его решения как слишком простые для того, чтобы быть подлинно глубокими. Как заметил один наблюдатель: «Бор — плохой судья для работ Ферми: вполне понимая всю сложность проблем, связанных с нейтрино, сохранением энергии и т. п., он не допускал и мысли о возможности такого их решения, которое не представляло бы как всепроникающее и исполненное загадочности. Ферми же предложил «слишком элементарное» решение»¹⁹. Бор всегда предпочитал методично доводить противоречия до их логических пределов, и анализ вытекающих отсюда концептуальных альтернатив был для него необходимой предпосылкой достижения окончательного решения²⁰. Ферми же вполне сознательно отвергал этот метод как слишком философский и едва ли не мистический; причем так он относился не только к работам Бора, но и к трудам ряда других крупных физиков-теоретиков. Иногда он замечал (правда, с улыбкой и не

* Английский физик, получивший за открытие нейтрона Нобелевскую премию; сама идея о существовании «нулевого элемента» была высказана Резерфордом еще в 1920 г., и с тех пор поиски этого элемента постоянно осуществлялись в Кавендишской лаборатории. — *Прим. перев.*

претендуя на выражение какого-то окончательного кредо): «Мы действуем согласно бэконовским правилам... Факты — вот что нам нужно: будем ставить опыты, и они откроют нам все, что мы хотим узнать»²¹. Об этом же писал и Энрико Персико:

«Уже в своих юношеских поисках Ферми выработал вполне определенный позитивистский взгляд на природу, хотя вряд ли он принял бы этот или любой другой подобный ярлык в качестве символа своей философии. Он не рос в религиозном окружении и потому избежал кризиса веры, обычного для большинства итальянцев, достигающих возраста самостоятельного мышления. Философские споры не слишком интересовали его, и даже пришедшийся на годы его зрелости расцвет философии науки, обязанный деятельности Венского кружка и некоторых других групп, оставил его, кажется, равнодушным. По-видимому, так случилось потому, что большинство основных идей логического позитивизма уже были найдены им самостоятельно и приняты как самоочевидные истины, а чисто философские топкости и связанные с ними споры были не в его вкусе»²².

Важнейшей чертой этого прагматизма Ферми была, вероятно, его способность безошибочно выбирать нужный момент, ту исходную точку, в которой состояние научного знания и экспериментальной техники максимально благоприятствовало открывающимся возможностям²³. Уже в начале своей жизни в науке Ферми самостоятельно осознал, что относительность и кванты — это как раз те области, где должен работать современный физик. Вся его деятельность была осенена этой восприимчивостью к наиболее многообещающим перспективам новых научных направлений, умением видеть расширяющиеся границы научного знания и постоянно быть на самом гребне фронта исследований, а не заниматься устранением «кризисов» уже существующих концептуальных систем. Как вспоминал Сегре: «Уже в Лос-Аламосе, во время войны, Ферми чувствовал, что новые направления физики будут связаны теперь не с изучением нейтронов, а с чем-то совсем иным. Он напоминал мне, как он сам отказался в начале 30-х годов от спектроскопии в пользу ядерной физики, и говорил, что теперь он хочет оставить физику медленных нейтронов и перейти к новым задачам в области физики высоких энергий»²⁴.

Все это подводит нас к изучению обстоятельств, при которых римская группа Ферми занялась ядерной физикой, что в итоге позволило ей добиться здесь лидирующего положения и привело к событиям 1934 года.

ВЫБОР ПРОБЛЕМЫ И ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО МЕТОДА

С начала работы в Римском университете в 1926 г. и до конца 20-х годов исследования Ферми и его растущей группы развивались в области спектроскопии и атомной физики²⁵. Однако вскоре по получении кафедры теоретической физики в Римском университете в 1926 г. он все больше стал осознавать, что продолжающаяся квантово-механическая революция требует самого пристального внимания, причем не только из-за интеллектуального возбуждения, порождаемого работами, подобными статьям Шредингера и Дирака, но и с практической точки зрения; значение квантовой механики надо было уяснить с точки зрения реализации исследовательской программы Ферми и его группы. В результате тщательной оценки складывающейся в физике ситуации он в конце 20-х годов пришел к выводу, что интенсивное развитие квантовой механики «знаменует завершение атомной физики». Сегре так пишет по этому поводу: «Эти идеи влекли коренное изменение исследовательских проектов Института, ибо все наши римские эксперименты восходили к спектроскопическим исследованиям, начатым Разетти под руководством Пуччианти еще в Пизе. Все наши достижения лежали в области экспериментальной спектроскопии; мы располагали лишь спектроскопической аппаратурой, да и наши познания ограничивались по преимуществу атомной физикой»²⁶.

Амальди вспоминает общее ощущение: «Надо было куда-то двигаться на поиски пока что скрытых мраком неизвестности фактов и явлений — необходимость этого стала очевидной»²⁷.

Физика сегодня развивается так быстро, что здесь не столь уж необычна ситуация, когда та или иная исследовательская группа замечает опасность своего отставания и решает перейти к новой и более перспективной области. Но столь прагматичный, хладнокровно взвешенный, последовательно осуществленный и исключительно успешный выход на новое направление исследований является в ис-

тории новейшей физики если не исключением, то редкостью²⁸. Решение Ферми и его сотрудников выбрать именно ядерную физику было очень рискованным и требовало полной отдачи от всех участников исследований, которые еще не располагали ни соответствующей теоретической подготовкой, ни надлежащей экспериментальной базой. Исключением был разве что сам Ферми, изучавший ранее труды Резерфорда по искусственному расщеплению ядер и самостоятельно занимавшийся влиянием ядерных магнитных моментов на сверхтонкую структуру спектров (результаты этих исследований он опубликовал в 1930 г.).

Менее пяти лет разделяют то время, когда группа Ферми решила переключиться на ядерную физику, и время получения первых результатов. В течение этого срока пик творческих усилий пришелся на несколько лихорадочных месяцев 1934 г., а к концу следующего года группа уже начала распадаться²⁹. События этого пятилетия, простирающегося от конца 1929 г. до конца 1934 г., распадаются на восемь следующих друг за другом этапов, каждый из которых в ретроспективе представляется необходимым звеном на пути к конечной цели. Разумеется, сама группа Ферми отнюдь не придерживалась в своей работе какого-то заранее сформулированного рационального плана.

Во-первых, решение следовало принять с учетом направления и масштаба будущих усилий, и оно должно было получить одобрение на достаточно высоком правительственном уровне, что могло бы обеспечить необходимую финансовую и административную поддержку исследований. В этом плане огромное значение имело выступление Корбино перед Итальянским Обществом содействия прогрессу науки, состоявшееся 21 сентября 1929 г. и озаглавленное «Новые цели экспериментальной физики»³⁰. Будучи сенатором Итальянского королевства, профессором экспериментальной физики и директором Физического института Римского университета, Корбино заявил итальянской общественности, ученым и сенату, что необходима переориентация физических исследований в направлении ядерных проблем.

В качестве человека, которому предстоит сыграть здесь главную роль, Корбино назвал Ферми, да и само его выступление «в действительности было написано в тесном

сотрудничестве с Ферми»³¹. В этой речи были тщательно сформулированы причины, согласно которым исследования в новой области должны были получить значительную поддержку, позволяющую надеяться на достижение действительно первоклассных по международным научным стандартам результатов, вследствие чего «Италия с честью вернет свое былое величие»³² в физике. «Единственная возможность новых великих открытий, — отметил Корбино, — создается благодаря перспективам, которые открывает изучение атомных ядер. Именно эта область и заслуживает усилий новых поколений физиков»³³. Физика всегда «превыше всего ценила открытие новых явлений»³⁴, лежащих за пределами существующих теорий, примером чего могут служить X-лучи и радиоактивность. Однако сегодня, подчеркнул Корбино, существует не так уж много шансов на подобные открытия, ибо «современная физика уже обладает фундаментальным знанием обо всех принципиально возможных явлениях, происходящих на Земле самопроизвольно или воспроизводимых в экспериментах»³⁵. Единственное исключение — «это область искусственных превращений атомных ядер»³⁶. Более того, исследования в этой области являются необходимой предпосылкой возникновения новых ветвей самой физики³⁷. Резерфорд уже «создал возможности осуществления искусственных ядерных превращений»³⁸, однако эффективность его метода очень мала.

«Возможно ли атаковать атом по-иному?»³⁹ — спрашивает Корбино. Он считает, что Италия, подобно другим странам, должна строить свои ускорители, однако видит возникающие здесь технические и финансовые трудности. Во всяком случае, заканчивает он, «можно прийти к выводу, что если значительный прогресс экспериментальных исследований в «старых» областях физики маловероятен, то исследование атомных ядер открывает поистине необозримые возможности. Это и есть самое привлекательное направление деятельности будущих физиков»⁴⁰.

Во-вторых, имея перед собой эту программу физических исследований, сформулированную (пусть в самых общих выражениях и вне связи с какой-нибудь конкретной экспериментальной задачей) в качестве национальной цели, группа Ферми должна была сделать следующий шаг: вплотную заняться самообразованием и изучить фундаментальные основы ядерной физики. Для этого осенью

1931 г. Амальди была поручена организация семинара, участники которого читали и анализировали главные работы Резерфорда, Чедвика и Эллиса, появившиеся к тому времени в новом издании⁴¹. Помимо Амальди, в этом семинаре работали Ферми, Разетти, Майорана и Сегре⁴².

В-третьих, группа должна была сохранять свою активность и не исчезать из поля зрения научного мира, для чего следовало не прекращать новых публикаций даже в течение периода перестройки. Поэтому работы Сегре и Амальди по спектроскопии продолжали появляться на протяжении еще нескольких лет, и даже в 1933 г. большая часть их статей была посвящена этой области, хотя, правда, уже тем ее разделам, которые частично перекрывались с ядерной физикой⁴³. Ферми также не прекращал своих публикаций, работая с большой отдачей: с начала 1930 г. и до появления первой из его работ по экспериментальной физике ядра, напечатанной в 1933 г., он опубликовал более 20 статей по самым различным физическим проблемам; причем по большей части этих работ он выступал без соавторства. Однако в целом начиная с зимы 1930/31 г. он уже был поглощен ядерной физикой, ожидая лишь готовности своей группы и лаборатории к новым исследованиям, а также появления подходящей для начала новых исследований исходной идеи. Эта его эволюция проявляется, например, в том, что он постепенно переходил от теоретических исследований, которыми по преимуществу занимался до этого, к физическим экспериментам, занявшись изучением сверхтонкой структуры спектров, порождаемой ядерным спином; эту работу можно считать одним из «мостиков», соединивших прежние его исследования с новыми⁴⁴.

Тогда же Ферми начинает и самостоятельное изучение экспериментальной техники, использовавшейся в ядерных экспериментах, пытаясь даже с помощью Амальди построить и запустить камеру Вильсона. Чтобы компенсировать бедность оборудования и отсутствие квалифицированных механиков, Ферми пришлось «положиться на принцип «сделай сам», которому он всегда следовал как в теории, так и в эксперименте. Желая свести до минимума работу в мастерских и построить камеру в основном собственными руками и с помощью простейших инструментов, он прежде всего обошел несколько магазинов

скобяных изделий, закупив различные хозяйственные принадлежности и газовые трубы»⁴⁵.

Однако к весне 1931 г. Ферми был вынужден оставить этот проект и вернуться к теоретической работе. Вероятно, сложность поставленной задачи несколько отрезвила его и повлияла на его решение направить своих сотрудников за границу, чтобы они могли изучить экспериментальную технику в мировых центрах ядерных исследований.

Четвертая фаза — это пора великого, хотя и временного, разъезда членов группы. Собственно говоря, такой период был и раньше: еще в прежние годы Разетти работал над изучением раман-эффекта у Милликена в Пасадене, а Сегре побывал в амстердамской лаборатории Зеемана, исследуя там его знаменитый эффект для квадрупольного излучения. Вторая же «экспедиционная фаза» началась уже в 1931 г. Разетти отправился к Лизе Мейтнер, работавшей тогда в Институте кайзера Вильгельма в Берлин-Далеме, чтобы изучить здесь технологию постройки счетчиков частиц и камер Вильсона, а также приготовления полониевых образцов и нейтронных источников. Сегре уехал в Гамбург, чтобы поработать у Отто Штерна, а Амальди направился к Питеру Дебаю в Лейпциг. Сегре и Амальди ставили перед собой более обширные цели, чем только овладение техникой ядерных экспериментов. Главное их намерение состояло в том, «чтобы... вернуться с новыми знаниями... обогатив тем самым свои собственные возможности. Одно время мы, — отмечал Сегре, — даже подумывали о постройке циклотрона.... Мы знали, что для этого потребуются изучение вакуумной техники: собственными силами мы не смогли бы получить нужного вакуума... В итоге же мы рассчитывали расширить свои исследовательские перспективы и достичь тем самым большей свободы в выборе проблем»⁴⁶.

Амальди вспоминает, что летом 1931 г. он встретил в Норвегии Разетти и Сегре, и потом они втроем разговаривали с Ферми. Члены группы чувствовали себя уже более подготовленными для серьезных исследований, хотя конкретное направление таких исследований не стало яснее по сравнению с планом, намеченным Корбино два года назад. Нейтрон к тому времени еще не был открыт, и теория ядра находилась в довольно бедном состоянии; в то же время итальянские физики обрели уверенность в

своим умением обращаться с экспериментальной техникой. Эти факторы в своем сочетании дали им возможность правильно определить яблочко мишени, которая еще только появлялась на свет. Амальди выразился об этом так: «Тогда мы решили, что лучше всего сосредоточить усилия на чем-то, находящемся пока лишь в зачаточном состоянии, чтобы на нашу долю осталось побольше еще не сделанного другими. Это было вполне ясно»⁴⁷.

Следующий шаг мог бы показаться довольно самонадеянным. Еще до того как римская группа получила какие-то результаты в области ядерной физики, в Риме в октябре 1931 г. был создан по инициативе Ферми Международный конгресс по физике ядра. Он стал первым международным научным форумом высшего ранга, специально посвященным этой области физики, и среди его участников было большинство ведущих теоретиков и экспериментаторов. Здесь были Блэккетт, Бор, Боте, Гаудсмит, Гейгер, Гейзенберг, Зоммерфельд, Мария Кюри, Лиза Мейтнер, Паули, Ферми, Эллис и ряд других физиков⁴⁸. Обычно об этом конгрессе пишут как о первой заявке римской группы на полноправное участие в ядерных исследованиях.

К осени 1932 г. Ферми и Разетти уже были готовы к серьезному осуществлению «объединенной программы римских исследований по ядерной физике»⁴⁹. Отпускаемые на эту программу средства из бюджета физического факультета достигли двух-трех тысяч долларов в год — «невероятное богатство, если учесть, что в среднем исследовательские бюджеты физических факультетов итальянских университетов были раз в десять меньше»⁵⁰. Вскоре была сконструирована великолепная большая камера Вильсона, построенная одной частной фирмой, и был создан кристаллический гамма-спектрометр. Группа пробовала самостоятельно строить и счетчики Гейгера, используя технику, которой Росси овладел во время своей работы в лаборатории Боте. Разетти приготовил «источник нейтронов, сравнимый по мощности с лучшими из существовавших в то время»⁵¹. Разетти и Ферми смогли наблюдать на своем гамма-спектрометре излучение мезотония с энергией в 2,6 Мэв. Амальди так комментирует это событие: «Это было единственное исследование по ядерной физике, уже выполненное в римской лаборатории»⁵².

Впрочем, тогда и в других лабораториях положение было немногим лучше. Оборудование для ядерных экспериментов было по большей части кустарным и не слишком надежным. Вплоть до 1932 г. основными источниками частиц, которые можно было использовать для изучения ядерных распадов, были либо изотопы, испускающие альфа-частицы, либо короткоживущие продукты распада радия, дающие сильное гамма-излучение, либо долгоживущий полоний, «получить который было непросто: как правило, для этого надо было ехать работать в Париж»⁵³. ненадежны были и детекторы частиц. Хорошие счетчики еще только конструировались, а доступные к тому времени приборы «создавали много помех и потому были не слишком полезны»⁵⁴.

Когда оборудование римской лаборатории было в основном закончено, итальянские физики уже ощущали близость долгожданных событий. Все происходило так, будто группа замерла в ожидании момента, когда ее члены, выражаясь словами Сегре, могли бы заявить: «Итак, теперь мы равны своим соперникам. Источник у нас есть, и мы начинаем работать»⁵⁵.

1932 год стал поистине даром небес для ядерной физики, и происходившие события должны были одновременно и вдохновлять, и беспокоить итальянцев, ибо пока что они могли считать себя лишь боковыми игроками. Великое достижение Чедвика — открытие нейтрона, упущенное супругами Жолио-Кюри, — было независимо сделано и в Риме Этторе Майорана, увидевшим в их экспериментальных данных новую частицу. Однако он, несмотря на требования друзей, не опубликовал своих идей и даже не слишком доверял им. В том же году заработал первый циклотрон, построенный Э. Лоуренсом и М. С. Ливингстоном, — так началась эра ядерных исследований с использованием управляемых потоков частиц. Вскоре вступил в действие и линейный ускоритель, построенный в Кавендишской лаборатории Кокрофтом и Уолтоном, причем с великолепным результатом — было осуществлено искусственное разрушение ядер лития.

Эти грандиозные успехи ведущих исследовательских центров могли бы привести некоторых «новичков» лишь в уныние, а плачевное состояние теории ядра, сохранявшаяся до начала 30-х годов, могло бы даже усилить такое чувство, если бы речь шла о членах какой-либо за-

урядной группы⁵⁶. Но как раз в это время Ферми с блеском демонстрирует свой теоретический дар, окончив в 1933 г. работу по теории бета-распада. Виктор Вайскопф назвал ее потом «фантастической работой, памятником интуиции ее автора... Основная идея Ферми состояла в том, что явление бета-распада в своей основе является рождением частиц, а потому стоит особняком от других ядерных превращений»⁵⁷.

Подход Ферми к проблеме бета-распада и результаты его теории были настолько необычны, что редактор английского журнала «Nature» отклонил рукопись, сочтя ее слишком абстрактной и далекой от физической реальности. Однако Ферми все же добился сравнительно быстрой ее публикации, направив статью в еженедельник итальянского Национального совета по научным исследованиям «Ricerca Scientifica», где она и появилась в конце 1933 г. Раньше ни Ферми, ни его сотрудники почти ничего не печатали в этом издании, но вскоре журнал стал для них одним из главных каналов быстрой публикации важных результатов. Позднее профессор И. Раби отмечал, что все это «сделало „Ricerca Scientifica“ одним из самых престижных физических журналов и побудило всех физиков, занимающихся проблемами ядра, овладеть итальянским языком настолько, чтобы следить за этими поразительными исследованиями»⁵⁸.

Наконец настал тот момент, которого римская группа ожидала с нетерпением, еще не зная, каким именно он будет: на сессии Академии наук в Париже 15 января 1934 г. было объявлено об открытии супругов Жолио-Кюри: бомбардируя бор и алюминий альфа-частицами, они получили новые радиоактивные изотопы азота и фосфора, наблюдая одновременное излучение позитронов. Результат был совершенно неожиданным для самих исследователей, едва его не пропустивших и пришедших в замешательство из-за его необычности⁵⁹.

Новизна открытия супругов Кюри состояла в том, что впервые элементы были сделаны радиоактивными «искусственным» путем, в лаборатории. Перед ядерной физикой открылись совершенно новые перспективы, причем как раз на том направлении, которое Курбино пророчески предсказал еще в 1929 г.

Статья супругов Кюри достигла Рима к февралю

1934 г., вызвав там сильнейшее возбуждение. Дж. К. Вик * вспоминает о встрече всех членов римской группы, собравшихся в кабинете Ферми, чтобы обсудить внезапно открывшиеся перспективы⁶⁰. Теперь все накопленные в течение долгого подготовительного периода возможности вдруг можно было объединить и пустить в ход⁶¹. Поразительно, что почти все знания и навыки, необходимые для новых исследований, уже были приобретены членами группы за прошедшие годы, так что расширения ее состава не потребовалось; единственным исключением стал радиохимик Оскар Д'Агостино, сделавшийся новым членом группы и чрезвычайно успешно участвовавший в ее работе.

Как и следовало ожидать, именно Ферми предложил по-новому использовать только что открытый в Париже эффект. Супруги Жолио-Кюри получили искусственную радиоактивность, облучая различные элементы альфа-частицами. Ферми же сказал, что «для этого, несомненно, надо использовать нейтроны. Нейтроны сулят гораздо лучшие возможности»⁶². Все, что было нужно для работы, уже имелось. Разетти еще раньше приготовил полониево-бериллиевый источник нейтронов, используя свои знания, приобретенные в лаборатории Лизы Мейтнер. Вскоре стало ясно, что пучки более мощные источники нейтронов, и Сегре вместе с Ферми смогли приготовить радиево-бериллиевые источники⁶³.

Нельзя забывать, что идея Ферми была повсюду отвергнута как в лучшем случае неправдоподобная, а в худшем — бессмысленная. Отто Фриш так писал об этом: «Помню, как я сам и, вероятно, многие другие реагировали на эксперимент Ферми, считая его нелепым, ибо размеры нейтронов гораздо меньше размеров альфа-частиц. Конечно, в этом несложном рассуждении не учитывалось, что нейтроны оказываются гораздо эффективнее: они не замедляются при столкновениях с электронами и не отталкиваются кулоновским полем ядра»⁶⁴.

Как рассказывает Амальди, все члены группы Ферми понимали, что на действительно интересные результаты можно рассчитывать лишь при условии быстрой и эффективной организации работы и осуществления системати-

* Известный итальянский физик-теоретик, с 1946 г. живущий в США. — *Прим. перев.*

ческих наблюдений⁶⁵. Имея дополнительную тысячедолларовую субсидию, с легкостью и без специальных условий полученную от Национального совета по научным исследованиям, они незамедлительно стали изучать эффекты, возникающие при нейтронной бомбардировке различных элементов. Это и стало началом тех исследований, которые вскоре⁶⁶ вывели римскую группу на одно из первых мест в данной области физики; что же касается внутренней организации группы, то она была поистине уникальной.

Сравнительно с первым периодом деятельности группы ее организация теперь сильно изменилась; она была непохожа и на привычные организационные структуры, принятые, скажем, в Кавендишской лаборатории. Исследования в Кавендише были довольно распыленными: каждый ученый, ведущий самостоятельную работу, занимался обычно лишь собственными исследованиями, лежащими в русле общего направления лаборатории; отдельные исследовательские группы, когда они возникали, не превышали трех человек. Резерфорд как глава лаборатории играл роль более или менее спорадического участника и консультанта исследований, закрепленных за каждым отдельным ученым или группой. В лаборатории же Ферми, напротив, работа была организована так, что все индивидуальные усилия направлялись к одной цели, которая была определена заранее и обещала наилучшие результаты для всего коллектива⁶⁷. Таким образом, вместо группы, осуществляющей широкий фронт исследований силами отдельных подгрупп, появилась группа, действующая как единая «команда». Это было несомненным институциональным нововведением.

Эффективность коллективных исследований увеличивалась еще и благодаря тому способу организации деятельности членов группы, который Ферми нашел и применил почти интуитивно. Он избегал как слишком сильного пересечения их интересов и возможностей, что могло бы вести к появлению у них собственных «территориальных претензий», так и чрезмерного расчленения их исследовательских функций. С тех пор достижение баланса этих факторов считается важнейшим аспектом успешного объединения ученых в эффективно работающий коллектив. Ферми как главный теоретик группы был как бы ее интеллектуальным центром. Это помогало избегать ряда

трудностей, периодически возникавших в Кавендише, где контакты теоретиков с экспериментаторами были не очень интенсивны.

Именно этот стиль физических исследований оказал с течением времени глубокое воздействие на развитие науки, в том числе и в самой Италии. Его ободряющее и стимулирующее влияние можно видеть на протяжении всего периода между закатом исследований римской группы и послевоенным возрождением итальянской физики. Уго Фано [итальянский физик-теоретик и генетик, переехавший перед войной в США] выражал уверенность в том, что эта «основа была установлена» как образец для исследований, проводившихся после 1934 г., а Аджено утверждал, что у Ферми он научился не только физике, но и всему его стилю работы в научной лаборатории, включая организацию и проведение исследований⁶⁸. Амальди вспоминал, как однажды он сам, Бернардини, Вик и несколько других физиков, объединившихся после отъезда Ферми, во время войны решили сосредоточить свои усилия на проблеме космических лучей. Этот выбор был тщательно обдуман, и основывался он на том, что данное направление не только было важным в чисто научном плане, но и могло эффективно развиваться на базе тех ресурсов, которые имелись тогда в их распоряжении (кроме названных имен, в состав этой новой римской группы входили также М. Конверси, Э. Панчини и О. Пиччиони)⁶⁹. Сосредоточенность и плодотворность усилий этой группы заметно повлияли на способность итальянских физиков получить к середине 40-х годов весьма ощутимые результаты в области физики высоких энергий, которая тогда была неотделима от изучения космических лучей, начатого еще в довоенный период и не прекращавшегося в течение всей войны⁷⁰.

В начале 1934 г. налицо был первый успех «нейтронной атаки» итальянцев на атомное ядро — была открыта искусственная радиоактивность алюминия и фтора. Эти результаты Ферми опубликовал в марте⁷¹. В ходе быстро проведенной серии новых экспериментов у сорока из шестидесяти облученных нейтронами элементов было открыто по крайней мере по одному новому радиоактивному изотопу. Такие открытия совершались раз в несколько дней; потом члены группы вспоминали об этом времени как о самой славной и насыщенной полосе своей жизни.

Одна статья следовала за другой. На этой стадии почти случайно были сделаны два институциональных «изобретения». Первым из них стало коллективное авторство: сначала две работы были подписаны только Ферми, а затем новые сообщения стали подписываться совместно, так что общее количество подписей доходило иногда до шести, что для того времени было необычно большим числом.

Другим «изобретением» стала подготовка и рассылка по почте (в адрес примерно 40 известных физиков из разных стран) того, что сейчас называется «препринтами», — типографских оттисков статей, подготовленных для печати в журнале «*Ricerca Scientifica*»⁷². Хотя предпубликационный период в этом журнале был довольно коротким, такая процедура все равно заметно ускоряла распространение информации: статьи публиковались на страницах этого журнала примерно через две недели после их поступления, а группа Ферми могла сообщать о новых результатах всего через несколько дней. Другое преимущество нового способа научных коммуникаций состояло в том, что, в то время как этот итальянский журнал покупали далеко не все библиотеки, его оттиски направлялись вовремя и именно тем ученым, которые больше всего нуждались в такой информации. Амальди заметил по этому поводу: «Вся процедура значительно облегчалась тем, что моя жена Джинестра работала тогда в „*Ricerca Scientifica*“»⁷³.

Отклики иностранных ученых говорили о большом интересе к римским исследованиям и быстром принятии их результатов⁷⁴. Та строчка из письма Резерфорда к Ферми, где отмечается: «Вам пришла в голову хорошая идея относительно того, с чего именно следует начать», может показаться несколько покровительственным похлопыванием по плечу новичка в области ядерных экспериментов, каким был тогда Ферми, но, конечно же, ничего подобного Резерфорд не имел в виду. Он был совершенно прав в том отношении, что после долгой подготовки к смутно предвидимому событию, которое должно было создать совершенно новые исследовательские возможности, Ферми и в самом деле нашел «золотую жилу»⁷⁵.

Открытие существования и эффективности *медленных* нейтронов последовало примерно через полгода. В каком-то смысле его приход был для итальянской группы лишь вопросом времени, однако в течение этого срока все, ка-

жется, были уверены, что эффективность нейтронного облучения должна возрастать с ростом энергии пучков и что поэтому медленные нейтроны должны иметь минимальное сечение захвата. Все известные к тому времени данные, относящиеся к реакциям, производимым протонами, дейтронами и альфа-частицами, показывали быстрое затухание реакций, происходящее при уменьшении скоростей падающих на мишень частиц⁷⁶. Эта уверенность вытекала не столько из наличия какого-то общепринятого, «ортодоксального» мнения, сколько из неполноты существовавших теорий.

И все же Ферми, основываясь отчасти на своих прежних исследованиях медленных электронов, смог правильно оценить возможности, связанные с использованием медленных нейтронов. Когда же произошло «мифологическое событие» октября 1934 г., ему понадобилось очень мало времени, чтобы заложить основы теории, правильно описывающей роль медленных нейтронов в процессах возбуждения радиоактивности. Так Ферми и его группа начали исследования, названные впоследствии героической эпохой новых ошеломляющих результатов, благодаря которым за несколько коротких месяцев статус итальянских физиков поднялся весьма высоко. Причем начавшиеся изменения касались не только физики. Италия действительно «с честью восстановила» потерянные ею позиции в науке, на что надеялся сенатор Корбино, по ведь и сама мировая история отныне изменила свое течение!

ИНТЕГРАЦИЯ В ТРАДИЦИЮ

Однако одних лишь личных качеств Ферми, его физического мастерства и исследовательского стиля могло бы оказаться недостаточно для преобразования всей итальянской физики. Даже обладая своими выдающимися способностями, он мог бы разделить судьбу Амедео Авогадро, достижения которого в области химии известны во всем мире. Хотя Авогадро был первым, кто занял в Италии кафедру теоретической физики, все же он не смог получить на родине достойного признания и не создал своей научной школы. Ферми, напротив, очень рано понял особенности той традиции, на основе которой в Италии осуществлялись научные исследования, и потому смог извлечь для себя и своей группы многообразные преимуще-

ства из существовавшей тогда системы институционализации и профессионализации науки. «Ферми до конца проник в суть системы и сознательно стремился как можно скорее достичь ее вершин»⁷⁷. По возвращении из Лейдена он буквально «рвался к работе» и стал настойчиво «добиваться прочного положения в науке, умножая количество своих публикаций. Поэтому он старался писать как можно больше статей, и притом по-итальянски. Отнюдь не снижая требований к себе, он вместе с тем весьма тщательно подсчитывал свои напечатанные статьи, радуясь росту стопки оттисков. Он стремился как можно скорее достичь следующего этапа академической карьеры — положения приват-доцента. А для этого ему, как он хорошо знал, важно было иметь побольше статей, особенно если бы те, кто должен был решать вопрос о его продвижении, были бы слишком ленивы или неспособны по достоинству оценить значение его работ»⁷⁸.

Любопытной стороной этой восприимчивости Ферми к традициям своей социальной среды и к предоставляемым ими возможностям для научной деятельности было и то, что он уже на первой критической стадии своей карьеры сумел найти общий язык с членами математического сообщества, получив его покровительство и поддержку. Математику Ферми изучал с вдохновением, но не ради ее самой, а потому, что считал математические знания необходимыми для глубокого изучения физики, которой он стремился «посвятить себя целиком», как он объяснял в 1918 г. своему первому наставнику Адольфо Амидеи⁷⁹.

Однако к 1920 г. Италия не могла похвастаться своей физикой, в особенности теоретической. Последним действительно великим итальянским физиком был Алессандро Вольта, со времени смерти которого прошло уже целое столетие. Как раз в 1920 г. умер, не оставив после себя преемника, тогдашний глава итальянской физики Аугусто Риги. В эпоху бурного развития физики в Германии, Франции, Великобритании и США, когда повсюду множились и набирали силу блестящие и даже революционные научные идеи, Италия была «тихой заводью, где практически никто не занимался современными физическими исследованиями»⁸⁰.

В институциональном отношении итальянская физика была развита в то время весьма слабо — такой вывод неизбежен, из каких бы критериев мы ни исходили, будь то

число профессиональных обществ и предоставляемые ими возможности, количество членов таких обществ или число университетских кафедр. За исключением Римского университета, где было две профессорские вакансии по физике, во всех других ведущих университетах Италии было лишь по одной должности профессора физики, причем профессора сменялись в среднем не чаще, чем раз в десятилетие. Эти слабости проявлялись и в других аспектах — таких, как степень поддержки исследований, качество научной периодики, размер притока студентов, количество и ранг национальных и международных физических конференций, влияние физиков в правительственных кругах и их престиж в общественном мнении и в глазах прессы. Немаловажным было и то обстоятельство, что вплоть до 1938 г., когда Ферми получил Нобелевскую премию по физике, эта награда была присуждена итальянцу лишь один раз: это было в 1909 г., когда лауреатом стал Гульельмо Маркони, отмеченный за свои работы в области радиотелеграфии. Причем эта новость смутила тогда многих итальянцев, ибо как раз в собственной стране Маркони не нашел поддержки.

Ферми знал, вероятно, и о ряде хороших или даже отличных работ, сделанных в те годы или в недалеком прошлом такими итальянскими физиками, как Бартоли, Пуччиапти (в Пизе), Гарбассо (во Флоренции), а также Корбино, учившимся у Макалузо в Палермо, а затем по инициативе Блазерна перебравшимся из своей родной Сицилии в Рим. Корбино был среди них, очевидно, самой крупной фигурой. Однако, несмотря на свою огромную эрудицию и интерес ко многим областям физики, сам он к тому времени уже отошел от исследовательской работы. И Ферми должен был сразу же заметить отнюдь не блестящее состояние итальянской физики: ведь, поступив в 1918 г. в пизанскую Высшую нормальную школу, он обнаружил, что сам он уже хорошо владеет большинством разделов программы, что современную физику ему придется изучать самостоятельно и что физикой тогда занялись также только два других студента, учившиеся вместе с ним, — Франко Разетти и Нелло Каррара. И тот факт, что после получения пизанского диплома и возвращения в Рим Ферми сразу же установил связи с математиками и был принят в среде их лидеров, где центральными фигурами были Каstellнуово, Леви-Чивита и Энрикес, кое-что

говорит о задатках Ферми как будущего «законодателя» науки ⁸¹.

Итальянская математика тогда была чрезвычайно авторитетной — достаточно вспомнить о таких фигурах, как Кремона, Севери, Риччи-Курбастро, Пеано, Вольтерра, Леви-Чивита и Каstellьнуово. Эти ученые вывели Италию на передний фронт математических исследований и принесли итальянской математике международное признание. Большинство университетов имело по нескольку математических кафедр, которые привлекали много одаренных студентов; в стране были также и первоклассные математические журналы. Подобно тому как первые ученики Ферми: Сегре, Разетти, Амальди, Персико и Майорана — пришли к нему с инженерных факультетов, предоставлявших своим выпускникам гораздо большие по сравнению с физикой шансы на успешную карьеру, так и сам Ферми был вынужден самостоятельно прокладывать себе дорогу в ту область, которая в Италии была еще недостаточно развита, а для этого он должен был заручиться поддержкой наиболее влиятельного и процветающего научного сообщества.

АКАДЕМИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА И НАЦИОНАЛЬНЫЕ ПРЕТЕНЗИИ

Очень важно, что Ферми отлично умел использовать возможности, создающиеся внутриуниверситетской политикой в Италии и весьма сильными в те годы националистическими амбициями. Известно, что сам он был глубоко аполитичен, однако только не по отношению к университетской жизни, ибо, хорошо это или плохо, именно от проводимой здесь политики зависело само создание такого нового и относительно дорогостоящего предприятия, как его группа, равно как и последующая поддержка ее деятельности.

Из воспоминаний самого Ферми известно, что почти сразу же по возвращении из Пизы он добился встречи с Корбино, которого тогда считали не только виднейшим из всех живущих итальянских физиков, но и наиболее влиятельным политическим лидером итальянской науки. Ферми так писал об этой встрече: «Мне было двадцать, Корбино — сорок шесть. Он был сенатором Итальянского королевства, в прошлом — министром образования; он имел репутацию одного из самых известных ученых» ⁸².

У Корбино молодой Ферми сразу нашел дружеский прием, и они вместе обсуждали его работы. «Мы встречались тогда почти ежедневно, и наши беседы не только прояснили многие мои запутанные идеи, но и возбудили во мне глубокое уважение ученика к своему учителю, постоянно возраставшее в течение всех лет, что мне посчастливилось работать в его лаборатории»⁸³.

Эти обстоятельства имели огромное значение для последующего развития событий. Корбино⁸⁴ прекрасно разбирался в физике и в свое время выполнил ряд интересных экспериментов, теперь же он с успехом занимался административной и политической деятельностью и консультировал промышленные фирмы. В 1920 г. он стал сенатором, а через год занял пост министра образования; некоторое время (до 1923 г.) он был министром национальной экономики, не состоя при этом в членах фашистской партии. В Риме, средоточии итальянской политической власти, Корбино умел разумно пользоваться своим влиянием и извлекал из этого большое удовольствие. «Великолепный оратор, он был наделен блестящим умом, а его интеллектуальные качества дополнялись добротой и великодушием его натуры и его способностью успешно маневрировать в сфере академической жизни. Он любил устраивать повышения, переводы на лучшие должности и т. п., обычно преуспевая в таких попытках»⁸⁵.

Важнее всего, однако, то, что Корбино в начале 20-х годов испытал глубокую внутреннюю переоценку; к тому времени прошло уже десять лет, как он прекратил исследовательскую деятельность, несмотря на свои исключительные способности к физике и глубокий постоянный интерес к ее проблемам. Выступая в качестве министра народного образования в сенате, он произнес: «Итак, достопочтенные сенаторы, я прошел через кризис, от которого хочу предостеречь своих будущих коллег... Я все еще тоскую по науке и среди тягот политической жизни больше всего жалею о мирных днях, проведенных мною среди приборов и экспериментов. И я опечален тем, что после смерти Аугусто Риги итальянская физика не смогла найти ему преемника»⁸⁶.

Нетрудно понять, как могла подействовать на Корбино, ставшего политиком и испытывавшего ностальгию по научной работе, встреча со столь несомненным научным гением, каким был Ферми: между ними возникло сотруд-

ничество, не ставшее менее эффективным из-за того, что принятое Корбино решение было, вероятнее всего, чисто импульсивным. Именно в результате усилий Корбино, преодолевшего косность итальянской университетской структуры, в Римском университете была создана кафедра теоретической физики, причем таким образом, что занять ее мог только Ферми. Вскоре после этого он, и вновь с помощью Корбино, становится единственным физиком, избранным в Королевскую академию Италии, — тогда ему было лишь двадцать восемь лет⁸⁷. Корбино же направлял и все административные действия, необходимые для получения вакансий и фондов для всех сотрудников Ферми, включая даже открытие еще одной профессорской должности по физике, учрежденной в 1930 г. специально для Разетти⁸⁸, занявшего в Риме кафедру спектроскопии; любопытно, что основана она была как раз тогда, когда Разетти уже оставил спектроскопию и переходил к занятиям ядерной физикой.

Поддержка, обеспеченная Корбино, а через него и государственными органами Италии, привела к тому, что группа Ферми оказалась в привилегированном положении. Без этой защиты молодой Ферми вряд ли выдержал бы противоборство с такими недругами, как другой университетский профессор физики Ло Сардо и прочие члены университетского истеблишмента, в течение многих лет отнюдь не доброжелательно следившие за растущей активностью Ферми. Корбино стал для Ферми поистине даром свыше, причем не только в качестве покровителя, но и в связи со своими административными функциями, подобно тому, как позднее Ферми пользовался дружеским расположением таких американских администраторов, как Джордж Пеграм* в Колумбийском университете, Артур Х. Комптон** в Металлургической лаборатории Чикаг-

* Профессор физики Колумбийского университета, где Ферми работал после приезда в США в январе 1939 г., один из главных участников американских ядерных исследований, проводившихся во время войны. Обратившись 16 марта 1939 г. к одному из руководителей американских ВМС адмиралу Хуперу с письмом, в котором он выдвигал идею создания ядерного оружия (и предлагал использовать для этой работы Ферми), Пеграм первым среди американских ученых начал контакты с администрацией США по вопросу военного использования ядерной энергии. — *Прим. перев.*

** Американский физик, нобелевский лауреат и открыватель эффекта, носящего его имя; руководил знаменитой Металлурги-

ского университета и Сэмюэль Аллисон* в том же Чикагском университете. В 1937 г. Корбино умер, и Ло Сардо занял его пост директора Физической лаборатории. Это событие было воспринято группой Ферми, оказавшейся теперь институционально не защищенной, как сигнал опасности и, вероятно, повлияло на то, что он стал все больше подумывать об эмиграции.

Участие Корбино в росте и деятельности группы Ферми заметно во всем: оно сказалось, например, в изменении ее исследовательской ориентации, обнаруживающем связь с такими выступлениями Корбино, как его речь в 1929 г., вступительное слово на открытии римской конференции по ядерной физике в 1931 г. или доклад на королевской сессии Академии деп Линчеи в 1934 г. Он часто говорил о риске, связанном со столкновением интересов; Сегре вспоминает, как «страшно разозлились на Корбино после его речи в 1929 г. все итальянские физики», за исключением, конечно, Ферми и его группы.

Корбино не гнушался даже популяризацией работы Ферми среди студентов Римского университета, которые почти не изъявляли желания специализироваться по физике. Как рассказывает Амальди: «Он стал заниматься просто-напросто пропагандой... Например, я сам, будучи второкурсником, слушал лекции Корбино... Как-то за пять минут до конца [своей лекции] он вдруг оборвал ее и сказал: „Теперь кое-кто из вас должен оставить изучение инженерных дисциплин и заняться физикой, ибо отныне у нас в университете есть новый профессор физики... Поверьте мне, этот человек способен вывести итальянскую физику на самый высокий уровень. Молодежь в такой момент должна охотно идти в физику“»⁸⁹.

Участие Корбино в работе группы Ферми много значило и в том отношении, что он часто беседовал со всеми ее членами, а также «оказывал материальную помощь их образованию, причем не только научному»⁹⁰. И последнее — по порядку, но не по важности: Корбино либо сам предложил для работы Ферми и его группы нечто вроде чекской лаборатории Чикагского университета, где 2 декабря 1942 г. группа Ферми впервые в мире загустила атомный реактор. — *Прим. перев.*

* Один из главных участников работ по созданию атомной бомбы; после войны возглавил заново созданный Институт ядерных исследований Чикагского университета, которому впоследствии было присвоено имя Ферми. — *Прим. перев.*

эпистемологической схемы, либо как минимум принял и поддержал идеи самого Ферми. Так, в 1929 г. Корбино обращал внимание на ряд традиционных слабостей физических исследований в Италии, в число которых он включал и обычай поиска новых и непредвидимых явлений «без какого бы то ни было обращения к существующим теориям». Он говорил, что в будущем развитие экспериментальной физики должно быть более тесно связанным с прогрессом теоретического знания и что, где бы ни проводились сегодняшние исследования, они должны осуществляться на основе полного понимания того, что делается в данной области во всем мире.

Ферми не был националистом, но он и не проявлял безразличия к тем возможностям научной деятельности, которые создавались национальным честолюбием. И по характеру, и по профессиональной подготовке он ощущал себя членом мирового научного сообщества. Возможно, однако, что его первый, в чем-то обескураживающий опыт, извлеченный из пребывания в Геттингене в 1922—1923 гг., где он мог общаться с Борном, Гейзенбергом, Иорданом и Паули, показал ему, что его надежды на собственную карьеру в науке и мечта о процветании итальянской физики могли бы быть совмещены к их взаимной выгоде.

Видя сильное укрепление позиций итальянского фашизма, Ферми думал об эмиграции уже в 1922 г.⁹¹ По возвращении из поездки в Германию и Нидерланды он, судя по всему, вновь вернулся к мысли о необходимости дополнить и изменить старые итальянские традиции, из-за которых наука в его стране оставалась в стороне от зарубежных теоретических достижений. Поэтому он вполне должен был согласиться со следующим высказыванием Корбино в речи 1929 г. (а возможно даже, что он был соавтором многих ее идей): «Учитывая, что сотрудничество физиков-теоретиков и экспериментаторов в Италии только еще зарождается и что мы пока не обладаем тем богатым лабораторным оборудованием, которое есть у других стран, не удивительно, что итальянская физика не смогла еще внести заметного вклада в прогресс науки. Если нам удастся исправить эти два недостатка, Италия с честью вернет свое бывшее величие»⁹².

Такие ожидания влияли, конечно, не только на возникновение группы Ферми; они были неотъемлемой

частью всей итальянской жизни и культуры тех лет. Всех детей растили здесь в атмосфере напыщенного национализма, в основе которого были прославление величественного прошлого Рима, прочерчивание параллелей между Римской империей и будущим итальянского государства, а также поиски выдающихся личностей в современной итальянской истории. И Ферми был довольно рано и вполне сознательно сделан одним из фокусов национальных надежд. Это нашло выражение и в докладе Комитета, присудившего ему 7 ноября 1926 г. первое место в конкурсе за кафедру теоретической физики Римского университета. Доклад составил сам Корбино, и человека, который казался ему новым Аугусто Риги, он описывал в таких выражениях: «Он с полной уверенностью обращается с труднейшими проблемами современной теоретической физики, а присущий ему стиль работы делает его наиболее подготовленным и перспективным представителем нашей страны в этой расширяющейся по всему миру области интенсивной научной деятельности. Поэтому Комитет единогласно считает, что профессор Ферми в высшей степени заслуживает присуждения конкурсной должности, т. е. кафедры теоретической физики, и чувствует, что такое решение может породить сильнейшую надежду на создание и развитие теоретической физики в Италии»⁹³.

Вопрос о том, в какой степени свободная и рациональная наука несовместима с идеологией тоталитарных государств, исследовался неоднократно. В Италии, во всяком случае, такие организации, как Национальный совет по научным исследованиям и Королевская академия, в работе которых Ферми участвовал и которые в свою очередь поддерживали его деятельность, использовались фашистским правительством в качестве институтов, дополнявших функционирование Итальянского физического общества и Итальянской ассоциации содействия науке. Однако любой режим, желающий поддерживать науку, должен был найти какой-то способ вести дела с Ферми, особенно если учесть, что еще не существовало сколько-нибудь определенного отношения к той ветви физики, в которой он работал⁹⁴.

Ферми мало интересовался идеологией. Хорошо это или плохо, но в каждой стране научные традиции включали и готовность профессионального сообщества более или менее приспособиться к тому правительству, которое

находилось у власти. Роберт Гук в своем проекте преамбулы к уставу Лондонского королевского общества провозглашал, что ученые не намерены «вмешиваться в дела богословия, метафизики, морали, политики, грамматики, риторики или логики». Когда великий герцог Леопольд II, в 1838 г. выбранный в члены Королевского общества, согласился в 1839 г. на образование первого союза ученых в Пизе, он поставил условием, чтобы «ни философия, ни политика, ни история, ни ораторское искусство, ни поэзия, ни право, ни экономика, ни государственное управление» не делались предметами обсуждения⁹⁵.

Ферми, наверное, нашел бы все это естественным и приемлемым; таких же взглядов придерживались, хотя и по другим причинам, государственные чиновники, от которых зависела поддержка его работы. Подобным же образом Ферми не считал нужным заботиться о вещах, не связанных непосредственно с его работой. Так, в Италии существовало распространенное предубеждение против науки, считавшейся потенциальным источником атеистических взглядов, враждебным настоящей культуре. Ферми к таким спорам был безразличен.

С другой стороны, Италия имела старую традицию использования ученых как правительственных советников, что вело к более свободным и естественным по сравнению со многими другими западными странами связям между политическими лидерами и итальянскими учеными и мыслителями⁹⁶. Цепочка, протягивающаяся от Блазерна к Корбино, а от него — к Ферми, служит одним из примеров таких отношений.

Иллюстрацией другой преднамеренной попытки связать работу группы Ферми со стремлением к удовлетворению национальных потребностей может быть то место в конце речи Корбино, где он указывает на дополняющие друг друга выгоды, которые обещает Италии активная поддержка новейшей физики. Он отметил, что теория относительности, одним из главных пропагандистов которой в Италии был опять же Ферми, могла бы с пользой служить для решения энергетических проблем. «Во всех ядерных явлениях, исключительная важность которых не нуждается в подчеркивании, вещество может превращаться в энергию, так что из каждого грамма высвобождается 25 млн. киловатт-часов»⁹⁷. Допуская, что такого результата в скором времени добиться не удастся, Корби-

но говорил и о других преимуществах. «Таким образом, даже если физике и суждено приблизиться к уровню насыщения, изучение ее приложений в других дисциплинах, например в биологии, если только оно будет осуществляться настоящими специалистами и на базе ресурсов современной физики, может принести результаты величайшей научной и практической ценности».

Конечно, подобные аргументы неоднократно использовались физиками, нуждавшимися в финансовой помощи общества. Но здесь примечательно другое — прозорливость Корбино, который в своих поисках разумной основы для общественной поддержки физических исследований и их практических приложений опередил других физиков, скажем Э. Лоуренса. Известно, например, что, пока Корбино выступал в качестве общественного рупора группы Ферми, последнему редко приходилось заниматься этим самому⁹⁸.

Наконец, в этом перечне точек соприкосновения профессиональной карьеры Ферми и национального честолюбия Италии нельзя не упомянуть и о возможности того, что покровители группы Ферми могли в глубине души лелеять неясные надежды на то, что победной ставкой в игре будет признание, которое вместе с Нобелевской премией придет в страну, ранее считавшуюся «второстепенной» в научном отношении. Еще не «измерены» местные эффекты таких событий, как первое награждение этой премией американского физика в 1907 г. или японского — в 1949 г. *, однако в итоге, несомненно, национальные научные сообщества начинали испытывать гораздо большую уверенность в собственных силах. В начале и середине 30-х годов становилось все яснее, что со временем и Ферми мог бы стать нобелевским лауреатом; но ведь такие надежды и до этого могли бы с успехом поддерживаться столь влиятельной и политически активной фигурой, как Корбино⁹⁹. И если этот пример может показаться чем-то вроде «рецепта», следуя которому «развивающаяся» в научном отношении нация могла бы обеспечить себе шансы на Нобелевскую премию, все же остается очевидным, что в таком случае прежде всего следовало бы найти нового Ферми, а затем обеспечить ему надлежащую поддержку.

* В США впервые Нобелевскую премию по физике получил А. Майкельсон, а в Японии — Х. Юкава. — *Прим. перев.*

Чарльз Вейнер, желая обозначить интенсивное взаимодействие европейских и американских физиков в 20-е и 30-е годы вплоть до момента, когда из-за победы нацизма ученые стали покидать германские университеты, ввел полезный термин «страпствующий семинар»¹⁰⁰. К этому времени ученые, в особенности физики, в сильнейшей степени развили в себе чувство сопричастности международным научным усилиям. «В годы, непосредственно предшествовавшие подъему третьего рейха, — пишет Вейнер, — в Европе кипела бурная интеллектуальная деятельность во многих областях знания, в особенности в физике... Европейские ученые-физики и их студенты находились в постоянном движении, путешествуя из страны в страну и обмениваясь новыми идеями. Как и сегодня, поездки и общение составляли важнейшую сторону жизни физиков, совсем не походивших на некий мифический образ запершегося в своей лаборатории и не интересующегося личными контактами ученого. Среди главных остановок на этих путях были университеты и лаборатории в Мюнхене, Лейпциге, Геттингене, Лейдене, Цюрихе, Копенгагене и Берлине. Для физиков 20-х годов было крайне важным обладать непосредственным опытом исследований, проводившихся в мировых научных столицах»¹⁰¹.

Так, в конце 20-х — начале 30-х годов поток гостей устремился в Кавендишскую лабораторию. Некоторые приезжали на два-три дня для короткого обмена мнениями, другие же оставались на два-три года для получения степени. Джон Кокрофт вспоминал, что «приблизительно половина лаборатории состояла из приезжих»¹⁰².

Отто Фриш, изгнанный среди сотен других немецких ученых из своего университета после введения в Германии весной 1933 г. расовых законов, приехал в Лондон и присоединился к физикам, работавшим в лаборатории у Блэкетта. «Мы называли себя лигой наций — так много национальностей было среди нас: немец, швейцарец, итальянец [Оккиалини], один парень был французским греком, другой — индусом и т. п.»¹⁰³.

Ферми, вероятно, очень рано понял международный характер физики, и именно поэтому незамедлительно стал изучать иностранные языки. Амидеи вспоминает: «Предвидя, что Ферми было бы очень полезно читать научные

работы по-немецки, не дожидаясь появления переводов на французский или итальянский, я посоветовал ему [приблизительно в 1917 г.] изучать этот язык, чем он сразу и занялся»¹⁰⁴. Поездки Ферми в Геттинген, Лейден, Копенгаген и США уже в начале его научной деятельности способствовали появлению и закреплению этого чувства принадлежности к международному физическому сообществу, куда Италии еще только предстояло найти свою дорогу.

Можно сказать, что группа Ферми извлекала для себя большую пользу из всех четырех главных способов выражения и использования международного характера науки, «встроенных» в структуры ее институтов. Первый способ — это заграничные поездки, для которых в случае необходимости предоставлялись стипендии, например от фонда Рокфеллера или от итальянского правительства. Такие путешествия позволяли изучать новую лабораторную технику и быстро публиковаться в иностранных журналах; отчасти именно из-за этого Сегре и Амальди ездили летом 1934 г. к Резерфорду. Существовала и потребность взглянуть на себя с учетом планов и знаний других ученых, а также укрепить международные научные связи. Даже Д'Агостино, хотя он и не был физиком, ездил учиться в лабораторию супругов Жолио-Кюри в Париж.

Второй институциональный механизм состоял в посещении и проведении международных научных конференций. В Италии первым форумом такого рода стал Международный физический конгресс в Комо в 1927 г.; к их числу относилась и римская конференция 1931 г. по ядерной физике, средства для которой были выделены итальянской промышленностью, причем главной фигурой на переговорах о субсидии был вездесущий Корбино. Многие из приехавших тогда в Рим в прошлом сами принимали у себя членов итальянской группы, или же им предстояло делать это в будущем. Эти факты показывают один специфический аспект римских международных связей: сотрудничество Ферми и Корбино породило нечто вроде «изобретенного специально на этот случай» интернационализма римских физиков, столь же кустарного, как и их радиоактивные источники, — и не менее эффективного! Он заметно отличался от характерных для других европейских стран институционализованных международных связей, таких, как сольвеевские конгрессы и конференции

международных союзов или профессиональных обществ.

Третий традиционный путь научного обмена, который использовала группа Ферми, — это приглашение иностранных ученых. «У нас побывало множество гостей, приезды которых были для нас источником вдохновения, — вспоминает Сегре. — Мы видели Бете, Блоха, Пайерлса, Лондона, Финберга, а также Плачека и Бабу. Говоря о «гостях», я имею в виду тех, кто проводил здесь некоторое время и участвовал в нашей работе, а не тех, кто приезжал лишь на пару дней, подобно Раману и многим другим»¹⁰⁵. В этот список входили также С. Гаудсмит, К. Мёллер, Дж. Уленбек, Э. Теллер. В Риме побывало и немало стипендиатов Рокфеллеровского фонда, получивших субсидии на изучение физики и математики.

Здесь важно отметить, что римская группа и в этом отношении резко отличалась от большинства главных физических центров — у нее не было возможностей подолгу принимать иностранцев. В отличие от Лондона, Кембриджа, Парижа, Копенгагена, Гамбурга или Берлина Рим не был физической «лигой наций». Работа здесь осуществлялась небольшой и тесно связанной группой соотечественников, которые к тому же вместе и формировались как ученые. После увольнения многих немецких ученых весной 1933 г., когда ряд организаций и отдельных лиц за пределами Германии посвятили себя поискам для них работы и убежища¹⁰⁶, римская группа физиков не считалась (да и сама не считала себя) способной и готовой к тому, чтобы сделать нечто большее, чем предоставить педолговременное пристанище немногим эмигрантам, хотя эти события происходили задолго до абиссинской войны, когда расистская пропаганда уже захлестнула и итальянскую политику. Точно так же итальянцы не использовали возможность привлечь одаренных и опытных ученых, которые, придя в другие лаборатории, способствовали их преобразованию в постоянно действующие крупные научные центры с международным составом участников¹⁰⁷.

Наконец, четвертая традиционная линия научных контактов — заграничные публикации и рассылка отписок иностранным коллегам. В отношении своих публикаций группа Ферми придерживалась тщательно взвешенной стратегии, печатаясь как в иностранных, так и в отечественных журналах, на своем и чужих языках. Лишь когда

в 1934 г. понадобилось ускорить публикации, ибо в это время постоянно открывались новые радиоактивные изотопы, статьи стали направляться в «Ricerca Scientifica», где не было предварительного рецензирования и отиски из готовлялись почти мгновенно.

Нужно учесть, что члены группы Ферми всячески стремились оправдать ожидания Корбино и всех, кто сделал на нее ставку, рассчитывая повысить международный статус итальянской физики. Возможно, что отчасти по этой же причине они предпочитали оставаться чисто национальным научным коллективом, практикуя лишь кратковременное сотрудничество с иностранными гостями.

Как мы уже видели, те проблемы и исследовательские методы, которые привели к открытию нейтронной генерации радиоактивных изотопов, были вызваны к жизни отнюдь не каким-то концептуальным «кризисом» науки. Напротив, решение группы Ферми вступить в международные гонки за признание своей роли в ядерной физике было вызвано ощущением того, что более традиционные области физических исследований не принесут особенно интересных результатов; что же касается кризисной ситуации, то итальянские физики видели ее в опасности потерять темпы и остаться в проигрыше. Как оказалось, эти невысказанные опасения и ожидания были возмещены сторицей, причем по отношению не только к итальянской науке, но также — в силу самой природы научной деятельности — и к науке в целом.

СОЦИАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ГРУППЫ ФЕРМИ

Структура и организация римской группы ученых прекрасно гармонировали с ее научными целями и программами — как национальными, так и международными, причем связи этого рода были взаимовыгодными¹⁰⁸. Можно насчитать с полдюжины факторов, влиявших на деятельность группы, которые определяли ее социальную структуру и делали совместные исследования особенно эффективными.

Изоляция и защита. Относительная изоляция группы и ее защищенность от внешних воздействий, которые поддерживались в основном благодаря политической и административной роли Корбино, имели исключительное значение. Сегре говорил: «Возможно, здесь есть упрощение,

но в целом картина такова: «Ферми был научным и техническим лидером, а Корбино заботился о финансах, решении административных проблем и т. п. ... Здесь было куда больше политических нюансов, чем кажется на первый взгляд, ибо в Риме Ферми имел немало противников; сам он был для них педоступен, но мелкой рыбешке они вредили бы охотно»¹⁰⁹.

Ло Сардо, например, воспринял приглашение Ферми в Рим как личное оскорбление. Причем в этом он был отнюдь не одинок; «и одна из важнейших задач Корбино состояла в том, чтобы нейтрализовать противников»¹¹⁰.

В какой-то степени Корбино выполнял те функции, которые в хорошо организованной научной дисциплине должны были бы осуществляться за счет институциональных механизмов. Но как бы то ни было, Энрико Ферми вполне мог быть спокоен за свою удаленность от политических распрей. Все говорит о том, что он не желал и избегал конфликтов с властью имущими, всячески стремясь к сохранению благоприятной обстановки для работы. Внук крестьянина, ставшего окружным писарем на службе у герцога Пармского, и сын сделавшего успешную карьеру железнодорожного администратора, Ферми и сам смотрел на мир отчасти глазами чиновника: он не испытывал особого желания тратить энергию на те проблемы науки и общества, которые могли казаться ему слишком запутанными и, возможно, даже неразрешимыми.

Изоляция и защищенность группы создавали ей и другое преимущество. В эти годы быстрого прогресса физики социальные, политические и экономические условия в Европе отнюдь не отличались упорядоченностью. Для тех, кто хотел заниматься физическими исследованиями или уже осуществлял их, немаловажной проблемой было то, что как в Италии, так и в других странах для физиков возможности профессиональной карьеры ограничивались почти исключительно преподаванием в школе или — с гораздо меньшими шансами — в университете. Многие из сотрудников Ферми отказались ради физики от инженерной деятельности, которая для итальянцев обещала гораздо более обеспеченное трудоустройство; ведь они должны были в течение долгого времени довольствоваться относительно низкооплачиваемыми должностями ассистентов. Но, как позднее вспоминал Амальди, такое положение не слишком их огорчало¹¹¹. Здесь, по-видимому, определе-

ную роль сыграло и то, что почти все члены группы, за исключением самого Ферми, росли в относительно обеспеченных семьях профессионалов. Теперь им приходилось жить довольно скромно; у самого Амальди жена работала редактором, что давало какие-то дополнительные средства. Он добавляет: «Тогда мы совсем не думали о быстрой карьере. Лично мне она была безразлична, и примерно так же относились к ней другие. Мы трудились с такой готовностью и получали от работы столь полное удовлетворение, что не было ни малейших оснований искать где-то лучшие должности. Все это хорошо отложилось у меня в памяти, ибо мы часто говорили о таких вещах. Как-то один из нас заметил: «В конце концов, стоит ли стремиться к лучшему месту, если там не будет условий для работы? А у нас по этой части все обстоит великолепно...» Мы были абсолютно убеждены в том, что занимаемся превосходным делом»¹¹².

В группе Ферми, да и во многих других научных коллективах тех лет, исследования осуществлялись таким образом, что их можно назвать «харизматической» деятельностью, а не «простым» выполнением академических обязанностей¹¹³. Думаю, что Бен-Давид прав, называя воздействие на человека наивысших достижений науки харизматическим в том смысле, что в нем проявляются особенности «важнейших и самых глубинных качеств одаренной личности»¹¹⁴. Но верно и то, что прагматический и скептический реализм Ферми не вполне соответствовал тому «метафизическому пафосу», с которым по другую сторону Альп обычно связывалось выполнение научных исследований. Тем не менее физическая и творческая энергия, бурлившая в Ферми и заражавшая его сотрудников, показывает, что его группа физиков, коль скоро она была поставлена в столь благоприятные внешние условия, могла даже в самом центре надвигающегося мирового урагана проводить научные исследования самого высокого ранга.

Малочисленность и подвижность группы. Теперь следует подробнее остановиться на формировании группы Ферми, которое происходило отнюдь не по стандартным образцам. В 1932 г., вспоминает Ферми, «в Европе было лишь несколько лабораторий, занимавшихся ядерной физикой, и я думаю, что термин «научная команда» тогда еще не вошел в жаргон ученых. Науку все еще делали

отдельные ученые, работавшие с помощью одного-двух студентов и ассистентов»¹¹⁵. Однако как раз к этому времени Ферми уже создал свою группу, хотя и небольшую по современным критериям, но жизнедеятельную и хорошо подготовленную к тому, чтобы взяться за решение важной научной проблемы, появления которой она с нетерпением ожидала.

При необходимости Ферми мог бы организовать и большую группу, что позднее он и сделал в Чикаго, хотя отчасти и с нежеланием. Вероятно, его личным inclination лучше всего отвечала небольшая группа, составленная из первоклассных ученых. Он не стремился ни к организации научного института со многими отделениями, где другие ученые могли бы разрабатывать собственные проблемы, ни к созданию учебного центра, куда приезжало бы много студентов из разных стран. Он предпочитал вкладывать свою энергию в работу коллектива, с членами которого его связывали личные отношения, способствующие решению интересующих его физических проблем. По мере роста таких коллективов их эффективность обычно уменьшается, а организационные сложности возрастают.

Небольшая группа имеет преимущества и в своей способности осознать и использовать счастливые возможности, когда они внезапно возникают. Преимущества группы Ферми проявились, например, когда Амальди и Понтекорво работали над созданием надежно воспроизводимых интенсивностей радиоактивного излучения, возбуждаемого при облучении серебра нейтронами. Именно тогда они натолкнулись на эффект, который в конце концов привел Ферми к гипотезе об увеличении сечения захвата с уменьшением энергии нейтронов. Этим ключевым наблюдением стало обнаружение «чудес» деревянного стола для установки приборов по сравнению со столом, сделанным из мрамора, — в первом случае эффект по непонятным причинам заметно возрастал. (Сегодня эта причина, конечно, ясна: дерево содержит водород, и потому рассеянные на нем нейтроны замедлялись.) Так впервые было замечено некое явление, проложившее дорогу к объяснению роли медленных нейтронов в процессах ядерных превращений, что привело в итоге к знаменитым достижениям конца 1934 г. Но ведь, возникни такой «счастливый шанс» в большой и поглощенной раз-

личными проблемами лаборатории, он мог бы и не привлечь внимания именно того единственного человека, благодаря усилиям которого то, что поначалу казалось просто раздражающей аномалией наблюдений, переросло в открытие; в конце концов экспериментаторы могли бы просто использовать другой стол и забыть обо всем случившемся.

Формирование группы, ведущее к сплоченности ее членов. Группа Ферми с самого начала своего существования отличалась от всех известных мне в истории физики коллективов: ей было присуще исключительное единство, порожденное уникальностью процесса ее образования и «обучения» новых членов. Ферми, конечно, сам предложил себя Корбино в качестве кандидата или по крайней мере согласился на такое предложение. Однако, обосновавшись в Риме, он продолжал уже сам, при поддержке Корбино, набирать свою группу, составившуюся из полудюжины сотрудников, каждый из которых был в своем роде необходим и незаменим. Разетти, старый друг Ферми еще по Нормальной школе, где он учился на инженерном факультете, был взят на работу в университет как ассистент Корбино. Он так рассказывал о своих первых впечатлениях от знакомства с Ферми: «Надо сказать, что я открыл Ферми очень рано... возможно, через месяц или два после нашего поступления (в октябре 1918 г.)... Я заметил студента, сидевшего рядом со мной. Подчас нам случалось беседовать. Мне понадобилось лишь несколько дней, чтобы понять исключительность его личности»¹¹⁶.

Во Флоренции Ферми и Разетти были вместе почти два года. «Практически мы не разлучались с утра до вечера»¹¹⁷.

Сегре был привлечен к сотрудничеству с Ферми в 1927 г., и эта история наглядно показывает, как в данном случае в противоположность обычной ситуации знакомство или дружба предшествовали отношениям, складывающимся в совместных физических исследованиях. Сегре вспоминал, что в 1927 г. «одновременно случилось несколько событий... В Рим приехал Разетти; Джованни Энрикес, сын математика, решил нас познакомить, потому что только у меня была своя машина, а Разетти хотел осмотреть несколько гор в Центральной Италии... Мы отправились все втроем, и там я встретился с Разетти, тогда начинающим физиком»¹¹⁸.

Сегре услышал как-то рассказ Ферми о квантовой механике и был потрясен: «Совершенно очевидно, что этот человек знал, о чем он говорил!» Джованни Энрикес или Разетти намекнули Ферми, что Сегре вполне подходит для того, чтобы перетащить его из техники в физику, поэтому летом 1927 г. произошла их встреча, протекавшая весьма примечательно. «Мы несколько раз ходили на море, плавали и все такое, — вспоминает Сегре. — Бывало, он спрашивал меня: «Ну а с этим что бы вы сделали?..» Он показывал мне раскачивающийся канатик, подвешенный за один конец, а я должен был изучить его колебания... Ферми хотел убедиться, действительно ли перед ним человек, пригодный для физики... Постепенно и я принохивался к нему; это был процесс взаимного притирания»¹¹⁹.

Сегре в свою очередь привлек Этторе Майорана, с которым он вместе учился на инженерном факультете; оставаясь «наедине с Ферми и Разетти»¹²⁰, он называл его человеком феноменальной одаренности.

Персико, который также сперва изучал в течение двух лет инженерные дисциплины в Римском университете, дружил с Ферми с детства, будучи одноклассником его старшего брата Джулио, умершего в январе 1915 г. Потерю любимого брата Энрико глубоко переживал, и как раз тогда он сблизился с Персико, и они вместе занялись изучением научной литературы¹²¹. Что касается Понтекорво, то он был близок с семьей Разетти и перевелся в Рим из Пизы, чтобы продолжать учебу под его руководством.

Амальди, как уже говорилось, отчасти был «свращен» самим Корбино, рассказывавшим о Ферми на своих лекциях, однако почва для его привлечения в группу была подготовлена опять-таки весьма характерным способом. Сегре вспоминает: «Лето 1925 г. Ферми провел в Доломитовых Альпах. Как обычно, спасаясь от равнинной жары, сюда приехали несколько римских математиков с семьями: Леви-Чивита, Кастельнуово, Бомпиани, Уго Амальди и молодой Франческо Трикоми. К их компании присоединился и молодой талантливый физик Р. Крониг; он и Ферми часто совершали длительные прогулки вместе с Эдоардо, семнадцатилетним сыном Уго Амальди, только что окончившим лицей. Беседы с ними вдохновили юношу, хотя понимал он, конечно, немного. После отъезда Кронига Ферми и Эдоардо Амальди, как лучшие спортсмены

во всей компании, вместе отправились в нелегкую велосипедную поездку по Доломитовым Альпам»¹²².

Небезразлично и то, что жены Ферми и Амальди до своего замужества обе учились в Римском университете: Лаура (Ферми) занималась на общеобразовательном факультете, но она посещала и лекции Корбино по электричеству, которые он читал для будущих инженеров, а Джинестра (Амальди), изучавшая астрономию, слушала лекции у физиков вместе с Амальди и Сегре. Ферми и Амальди бывали в доме родителей Лауры, когда там собиралась молодежь. Другим местом общих встреч была квартира профессора Кастельнуово, двери которой, по итальянскому обычаю, были по субботам открыты для его друзей и коллег, таких, как Леви-Чевита, Вольтерра и Энрикес, обычно приходивших сюда с женами и детьми, чтобы «провести несколько часов в дружеской обстановке, в приятельской беседе с близкими друзьями»¹²³. Лаура здесь нередко встречала своих соучеников и наставников. Ферми, Разетти и Сегре также посещали этот дом.

Отсюда видно, сколь рано оформились тесные связи между будущими членами группы Ферми, причем этот процесс определялся как их совместным интересом к физике, так и специфической структурой и обычаями итальянского общества того времени. Если вспомнить, как возникали исследовательские коллективы в других европейских физических центрах тех лет, где ученые объединялись, как правило, уже получив образование и достигнув профессиональной зрелости, и где, как в Кавендише, собирались исследователи из Англии, Австралии, США, СССР и самых удаленных уголков нашей планеты, то можно прийти к выводу, что итальянский коллектив был не только исследовательской группой, но и чем-то, напоминающим семью¹²⁴.

Модель семейного предприятия. Ферми рос в очень прочной семье и был исключительно дружен с братом и сестрой. Его собственная судьба была предопределена, когда коллега его отца Амидеи взял тринадцатилетнего мальчика под «интеллектуальную опеку». То, как он обратил на него внимание, само по себе символично для общественной структуры того времени. Амидеи вспоминал, что в 1914 г. он часто уходил со службы в министерстве путей сообщения вместе со своим коллегой Альберто Ферми. «Часть пути до дому мы почти всегда проходили

вместе с Энрико, любившим встречать отца. Узнав о моем сильном интересе к физике и математике, он не упускал возможности задавать мне вопросы. Мне было 37 лет, а ему — 43»¹²⁵. Амидеи не только говорил с Ферми о науке и давал ему книги; он стал для мальчика истинным наставником, помогая ему планировать свою жизнь, причем не всегда в согласии с намерениями родителей. Здесь мы встречаем нечто похожее на то, как сам Ферми привлек Сегре и Амальди¹²⁶.

Энрико Ферми можно представить себе в качестве некоего центра планетоидного семейства, состоящего из его студентов и сотрудников, чем-то вроде Юпитера, окруженного своими лунами. В его группе бытовал и другой образ — шутливая аналогия с церковной иерархией, где Ферми был присвоен титул «папы» — из-за его непогрешимости в квантовой физике. В это семейство, кроме основных сотрудников Ферми, входили также и студенты, число которых не было постоянным.

Вся эта «система» вращалась, однако, вокруг единого общего «центрального светила» — Корбино. Если для римской группы он и не был отцом (хотя его называли здесь «Падре Этерно» или «Падретерно»¹²⁷), то уж ее крестным был наверняка. Корбино всегда был рядом, постоянно навещал своих подопечных и беседовал с ними, участвовал в их семинарах и в принятии важных решений. Он и жил со своей семьей тут же, в одном здании с Физическим институтом, которым он руководил. Лаура Ферми сообщает в своих воспоминаниях, что Ферми и его помощников очень кстати называли «мальчиками Корбино». Однако привычная для европейского академического мира автократическая модель поведения главы института, раздающего задания более или менее послушным ассистентам, абсолютно не отвечала особенностям этой семейной системы¹²⁸. Напротив, чрезвычайно симптоматичен тот факт, что и Ферми, и Корбино выбирали своих будущих помощников, как правило, среди тех, кому посчастливилось оказаться поблизости, а потом работали над этим «сырым материалом».

То, как Лаура Ферми в своих мемуарах описывает совместные поездки всей «семьи» (с женами и детьми) на экскурсии и каникулы, лишь подчеркивает это взаимопроникновение научных и человеческих отношений. Дополнительное свидетельство в пользу этого состоит в том, что

члены группы раньше других физиков стали практиковать коллективное авторство; их близость друг к другу сделала возможным и разделение наград за общую научную деятельность. Сосуществование столь неформальных отношений и дружеских чувств в условиях сложной и требующей строгой дисциплины работы было достижением организационного гения лидера этой группы — Энрико Ферми¹²⁹.

Умеренность и «импровизация». Группа Ферми располагала довольно скромными ресурсами, но зато использовала она их с полной отдачей, что было возможным лишь благодаря определенной «импровизации». Дело в том, что не только мало платили за работу, но и исследования финансировались не очень щедро, особенно если учесть исключительную важность полученных результатов. Сильно сдерживало работу также отсутствие квалифицированного механика и хорошей мастерской, из-за чего так и не удалось построить циклотрон, хотя Корбино еще в 1929 г. предупреждал о неотложной необходимости своего ускорителя для перспективных исследований¹³⁰. Сегре отмечал, что «это была совсем особенная физика. Все делалось на нескольких лабораторных столах с помощью сургуча и бечевки. Наша физика была простой и дешевой». Конечно, и в других местах картина зачастую была аналогичной. Так, хотя бюджет лаборатории Резерфорда был почти в десять раз больше, по ведь и эта сумма была далеко не достаточна.

Имеются данные, свидетельствующие о том, что обойти эти трудности сотрудникам Ферми помогали средиземноморские традиции: то, что нельзя было купить или сделать самим, подчас гораздо легче удавалось одолжить на время, достать с помощью знакомств или смастерить на скорую руку что-нибудь аналогичное. Так, они всегда могли рассчитывать на помощь шефа физического отдела Института народного здравоохранения Трабакки — единственного человека не из числа сотрудников Ферми, благодарности которому он выразил в своей нобелевской речи. Помощь эта была совершенно неофициальной. В свое время Трабакки работал ассистентом у Корбино, а теперь его собственная лаборатория помещалась в том же здании. У Ферми его называли «божьим промыслом»: ведь именно он владел радиоактивными препаратами. В лаборатории Трабакки имелось около грамма радия — гораздо больше,

чем в большинстве других лабораторий. Директор Института Маротта также не был формалистом и всегда готов был оказать содействие¹³¹. Сегре, например, весьма умело пользовался тем, что Рим в каких-то отношениях был большой деревней, где многие знали друг друга. Он рассказывал, как знакомый ювелир одолжил ему для экспериментов десятикилограммовый слиток золота. «Я бы не смог присвоить его и исчезнуть — ведь здесь все более или менее знали, кто из какой семьи происходил»¹³². Все это было близко к тому способу, каким вошли в круг ученых сам Сегре и другие члены римской группы.

Личные качества Ферми во многих отношениях очень подходили для научной деятельности, осуществляющейся в условиях бережливости и импровизирования. Он был весьма скромнен в своих научных обещаниях и всегда проявлял в этом осторожность — в противоположность более экспансивному Корбино, подчас ставившему группу своими преждевременными или несдержанными заявлениями в неловкое положение. Ферми очень берег время и ценил его: присущее ему умение концентрированно и эффективно использовать время (скажем, при разделении обязанностей между сотрудниками) было поистине легендарным и поражало его учеников.

Наконец, следует упомянуть и о некоторых других обстоятельствах. Вернемся к пользе, извлекавшейся из того, что сейчас называют «общественными отношениями», — использования конференций, публикаций в научных журналах, учебников, популярных статей, а также продуманного распространения сообщений о работе группы. Ферми, конечно, жалел о потраченном на это времени, тем более что некоторые из этих мероприятий могли вызвать подозрения в стремлении к саморекламе. Но он понимал, что никакая научная деятельность, даже столь защищенная, как его собственная, не должна упускать шансов на общественное понимание и общественную поддержку. И в этом он преуспел чрезвычайно; некоторые итальянцы, с которыми мне приходилось обсуждать эти вопросы, говорили даже, что он преуспел в этом слишком хорошо и что сегодня та область исследований, которую развивал он со своими учениками, поглощает слишком большую долю выделяемых науке ресурсов. Однако это лишь часть цены успеха, и подобные споры ведутся в любой преуспевающей в научном отношении стране¹³³.

Таким образом, деятельность группы Ферми привела к тому, что в 30-е годы итальянская физика стала зрелой наукой по всем принятым критериям: в отношении получаемой ею финансовой и институциональной поддержки, привлечения новых кадров, шансов на профессиональную карьеру, предоставляемых ею молодым ученым, национального и международного признания. Причем это положение было завоевано группой, столь непохожей ни на один из известных к тому времени научных коллективов. Сформировавшаяся в значительной степени по образцу «семейного» сообщества, она направляла свои устремления как внутрь страны, так и вовне и стремилась добиться для Италии высокого престижа, который был бы создан трудами ее ученых; она старалась интегрироваться в национальные традиции (что отнюдь не означало архаичности), умело использовала реально существовавшие общественные институты и проявила значительные способности к институциональным новшествам. Деятельность этой группы была относительно скромной по организационным масштабам и хорошо защищенной как экономически, так и политически.

Профессор Сьюзен Бержер в своей работе «Использование традиционного сектора: почему выживают клонящиеся к упадку классы»¹³⁴ обращает внимание на тенденцию к стойкому сохранению специфически итальянского общественного института — «небольшой и защищенной семейной экономической единицы» посреди экономических и политических структур современного индустриального общества. Это интересное исследование выявляет корни данного явления, кроющиеся в истории народа и его социальной жизни. Многообещающие параллели между ее результатами и выводами настоящей статьи несомненны; возможно, они заинтересуют исследователей итальянского общества и побудят их изучить это явление более детально.

Сегодня, спустя полстолетия после прихода на авансцену науки людей из поколения Ферми, уровень и продуктивность итальянской физики весьма высоки и признаны во всем мире. На происходившей в сентябре 1972 г. в Национальной академии наук США в Вашингтоне церемонии празднования 50-летнего юбилея Международного

союза чистой и прикладной физики, в которой участвовали крупнейшие физики со всего мира, и главная вступительная речь, и первый из основных докладов были произнесены итальянскими физиками; и все это было принято как должное.

Высокий уровень итальянской физики, особенно в областях, восходящих к работам Ферми и его учеников, сам по себе в какой-то степени аномален: ведь многие ветви итальянской науки находятся далеко в не столь блестящем состоянии. Эта ситуация детально документирована в отчете «Обзор национальной научной политики — Италия»¹³⁵, который содержит новейшие сравнительные данные. Вот лишь некоторые из них. По капиталовложениям в научные исследования и разработки на душу населения Италия по сравнению со странами, входящими в европейскую Организацию экономического сотрудничества и развития, а также ряда других стран была на очень низком месте (5,8 доллара в 1963 г. и 6,8 — в 1965 г.)¹³⁶. По числу квалифицированных ученых-исследователей, инженеров и техников (6 чел. на 1000 населения) Италия также далеко внизу — в других странах это число в три-четыре раза выше¹³⁷. Средства, ассигнованные в 1967 г. на субсидируемые итальянским правительством исследования, составили 2,4% национального бюджета — примерно в два раза меньше по сравнению с Францией или ФРГ¹³⁸. Почти половина ассигнований, предназначенных на естественные науки, пришлось только на три перекрывающиеся области: физику, ядерные исследования и космические исследования.

В 1963 г. лишь 4,7% научных исследований, проводимых в высшей школе, финансировалось промышленными корпорациями¹³⁹. Неоднократно было предметом дискуссий и неадекватное обеспечение этих исследований кадрами: согласно опубликованным данным¹⁴⁰, один ассистент в среднем приходится на 4,9 научных работников, ведущих исследования, что явно недостаточно. Среди других сложностей — недостаток лабораторных помещений и аудиторий. Поэтому не стоит удивляться и выводу отчета: «Итак, итальянские университеты не предоставляют исследователям хороших возможностей для организованной карьеры»¹⁴¹.

Однако в конце этого, скорее, меланхолического описания мы вдруг натываемся на позитивный вывод: «Мас-

штаб итальянских усилий в отношении поддержки исследований фундаментальных проблем ядерной физики и развития национальной программы создания ядерных реакторов не может не впечатлять... Более того, в лице своих физиков-ядерщиков Италия обладает динамичным научным сообществом, значение которого как в чисто научном, так и в политическом планах невозможно переоценить. Нельзя также отрицать его роль в качестве психологической и культурной движущей силы национальной жизни. Эти результаты с лихвой оправдывают затраченные средства»¹⁴².

Вряд ли можно рассчитывать на выявление непосредственных связей между первой встречей Ферми с Корбино и достижением столь привилегированного положения теми областями итальянской науки, начало которым было положено деятельностью группы Ферми. Но как бы ни были велики непредвидимые и накладывающиеся друг на друга катаклизмы национальной и мировой истории, совершенно ясно, что сегодня у Корбино были бы все основания быть довольным непрекращающимися успехами той оптимистической программы, которую он сформулировал в 1929 г.¹⁴³

1. Эти слова Ферми цитируются С. Чандрасекаром в: "Collected Papers of Enrico Fermi". Chicago, University of Chicago Press, 1965, vol. 2, p. 927 и Эмилио Серге в: "Enrico Fermi, Physicist". Chicago, University of Chicago Press, 1970, p. 80. Первое издание в дальнейшем будет сокращенно обозначаться CPEF; второе — EFP. По поводу других источников, использованных в последующих ссылках, см. прим. 143.

2. EFP, p. 80.

3. Hahn O. and Strassmann F. Nachweis der Entstehung aktiver Bariumisotope aus Uran... — In: "Die Naturwissenschaften", 27, № 6, 1939.

4. Можно назвать, например, таких известных флорентийских физиков, как Джилберто Бернардини, Джузеппе Оккиалипи, Джулио Рака и Бруно Росси. Как организация этой группы, так и ее достижения заслуживают особого изучения. Деятельность флорентийцев в ряде аспектов аналогична работе группы Ферми. Так, здесь работал человек, функции которого отчасти напоминали функции Корбино в Риме; это был Антонио Гарбассо — физик, директор Физической лаборатории, сенатор и мэр Флоренции. Хотя римская и флорентийская группы развивались независимо, между ними существовал ряд связей — в основном через Б. Росси. См. об этом в EFP; см. также интервью Дж. Оккиалипи, данное им Американскому институту физики; этот источник будет цитироваться далее как AIP (см. прим. 143).

5. AIP, p. 158.

6. Биографическое введение Эмилио Серге к CPEF, p. 70.

7. AIP, p. 51.

8. Это интервью содержится в данных, собранных при осуществлении проекта «Источники истории квантовой физики» ("Sources for the History of Quantum Physics", p. 8) (см. прим. 143); в дальнейшем сокращенно обозначается как SHQP. Данные, полученные при осуществлении этого проекта, хранятся в архиве Американского философского общества в Филадельфии. Описание проекта и каталог результатов см. в: Kuhn T. S., Heilbron J. L., Forman P. L. and Allen L. Sources for the History of Quantum Physics: An Inventory and Report. Philadelphia, 1967.

9. См. его интервью в AIP, p. 12—14, а также в SHQP, p. 20—21.

10. Интервью Амальди в AIP, p. 11—12.

11. "The discovery of Fission". — In: "Physics Today", 20, № 11, November, 1967, p. 43.

12. См.: EFP, p. 71; а также Ф. Разетти в: CPEF, p. 539.

13. См., например, свидетельство Бруно Понтекорво: «Неделя», № 25, 1969, с. 11.

14. Очень многие из бывших студентов Ферми достигли позднее заметного положения в своих областях науки. Например, список тех, кто учился у Ферми в США, включает Г. Андерсона, О. Чемберлена, М. Гелл-Манна, М. Голдбергера, Д. Лазаруса, Т. Д. Ли, Дж. Орира, М. Н. Розенблюта, А. Розенфельда и других. См. EFP, p. 167 и далее.

Важно, однако, прослеживая очевидные успехи Ферми как физика, учителя и руководителя научных коллективов, не забывать и об определенных границах его достижений. В ретроспективе нетрудно заметить и упущенные возможности, например открытие эмиссии продуктов делений атомов урана, бомбардируемых нейтронами. Группа Ферми совершала и довольно элементарные ошибки, хотя число их было невелико: возможно, тот самый консерватизм группы, который, вероятно, привел к потере ряда исследовательских возможностей, предохранял от многих других ошибок. Сегре отмечает: «Ферми очень не любил ошибаться, но, поскольку те или иные ошибки неизбежны, он предпочитал быть неправым лишь в том отношении, что публиковал слишком мало» (AIP, p. 103).

15. См. подписи к экспериментальному кинокурсу физики, выпущенному на 16-миллиметровой черно-белой пленке под номером 075455—0: "The World of Enrico Fermi", by Holt, Rinehart and Winston, New York, p. 11. В дальнейшем этот источник цитируется как WEF (курс физики).

16. См., например: Ферми Лаура. Атомы у нас дома. М., Издательство иностранной литературы, 1958.

17. Понтекорво вспоминает, что Разетти, критикуя как-то одно экспериментальное устройство, восклицал по адресу Ферми: «Вы делаете в лаборатории непростительные вещи. Поглядите на этот электромметр. Вы бы намазали его даже „дышлячей кровью“ [так физики называли на своем жаргоне красноватую и неприятную на вид пасту, используемую в лаборатории], если бы вы думали, что это поможет вашим исследованиям. Признайте хотя бы, что это так!» Ферми спокойно ответил: «Ну конечно, я бы вымочил в ней все наши электромметры, если бы думал, что таким путем удастся узнать что-то важное» (прим. 13). Сам Разетти ставил очень элегантные эксперименты, а Ферми, как показывает это воспоминание, отчасти даже бравировал своим стилем экспериментирования.

18. См.: "Project Physics Course Reader, The Nucleus". Unit 6, New York, Holt, Rinehart and Winston, 1970, p. 28.

19. Weiner C. and Hart E. (eds.). Exploring the History of Nuclear Physics. American Institute of Physics Conference Proceedings, № 7, New York, 1972, p. 185.

20. См. V главу этой книги — «Корни дополнительности», с. 159—210.

21. См. интервью Сегре в AIP, p. 28. Амальди также вспоминал, что Ферми сознательно откладывал выдвигание гипотез, если они не были действительно необходимыми, считая, что такие ги-

потезы «могут лишь принести вред, искажая наши мысленные образы. Он настаивал на том, что рассуждения должны основываться на наблюдаемых экспериментальных фактах: это и должно привести с необходимостью к правильной интерпретации природы нейтронных групп. Ферми опасался, что, как бы ни была правдоподобна предварительная интерпретация, она может послужить помехой для объективной оценки окружающих нас явлений» (см.: Амальди в CPEF, I, p. 808).

22. См. рецензию Персико на CPEF.—In: "Scientific American", 270, № 5, November, 1962, p. 183.

23. «Ферми как экспериментатор имел ярко выраженный индивидуальный стиль. Его сила в этом плане была не в том, что он умел строить сложные приборы или добиваться исключительной точности измерений. Скорее она заключалась в его способности обнаружить самый подходящий момент для осуществления важнейшего эксперимента, задумать этот эксперимент и спланировать его наиболее простым и эффективным способом, а затем провести все опыты спокойно и энергично, не тратя на несущественные детали ни времени, ни усилий. Его эксперименты всегда были внутренне связаны с его теоретическими исследованиями, и он осуществлял те и другие терпеливо и методично, с величайшим упорством и умением преодолевать умственную и физическую усталость» (Pericico E. Op. cit.).

24. Segrè E. Fermi and Neutron Physics.—In: "Review of Modern Physics", 27, July, 1955, p. 262.

25. Одним из побочных продуктов этой работы стал учебник Ферми по атомной физике: "Introduzione alla Fisica Atomica". Bologna, Zanichelli, 1928.

26. EFP, p. 65.

27. AIP, p. 5.

28. «Работа Резерфорда и его школы была для нас довольно чуждой. Поэтому нам было очень нелегко переключиться на проблемы физики ядра. Это было не прихотью или уступкой моде, а результатом обдуманного плана, который энергично и даже горячо обсуждался Ферми и его друзьями» (там же).

29. После своего кратковременного пребывания в Колумбийском университете Разетти не хотел возвращаться в Италию, виной чему было политическое развитие того времени — война в Эфиопии и ухудшение всей европейской политической ситуации. Сегре, приехавший той осенью в США, в свою очередь тоже стал думать об эмиграции из Италии, но, когда он все же вернулся, он обосновался уже не в Риме, а в Палермо, где и работал до своего отъезда в США в 1938 г. Понтекорво уехал из Италии во Францию, и в Риме тогда оставались лишь Ферми и Амальди. Разетти вернулся в 1936 г., но через три года также вынужден был оставить Италию.

30. См. EFP, p. 65—68; см. также вводное замечание Ферми к переводу речи Корбино: "The New Goals of Experimental Physics", сделанному Фаустой Серге: "Reports and Documents".—In: "Mingerva" 9, № 4, October, 1971, p. 528—538.

31. Интервью Серге в SHQP, p. 15.

32. Речь Корбино. Цит. соч. (прим. 30), p. 532.

33. Там же, с. 535.

34. Там же, с. 534.
35. Там же, с. 534.
36. Там же.
37. Там же, с. 535.
38. Там же.
39. Там же, с. 536.
40. Там же.
41. Rutherford E., Chadwick J. and Ellis C. D. *Radiations from Radioactive Substances*. Cambridge: Cambridge University Press, 1930.
42. Описание этого семинара см. в воспоминаниях Амальди: Amaldi E. *La Vita e l'Opera di Ettore Majorana, 1906—1938*. Rome, Accademia dei Lincei, 1966.
43. См. лекции Амальди «Воспоминания об исследованиях» (“Recollection of Research”), прочитанные на семинаре в Международной школе по физике в Варенне летом 1972 г. (57-й курс). Издание материалов школы: Weiner Ch. (ed.). *History of Twentieth Century Physics*. New York, Academic Press, 1977. См. также интервью Амальди в AIP, р. 9. Переход был наиболее заметен у Сегре, работавшего над изучением сверхтонкой структуры. См. работы Ферми и Сегре в CPEF, тексты 75a и 75b.
44. «...совершенно ясно, что [Ферми] прежде всего стремился взяться именно за ядро. Он начал с попыток изучения сверхтонкой структуры, которая связывала новое направление с тем, что он уже знал. Потом он стал пробовать гамма-спектры, гамма-спектроскопию, обнаружение ядерных уровней...» (Интервью Сегре в SHQP, р. 18).
45. CPEF, р. 548, комментарий Ф. Разетти.
46. Интервью Сегре в SHQP, р. 18, а также р. 21—22. Амальди в своем интервью в SHQP делает ударение на другом аспекте. «Я поехал в Лейпциг, почему — уже не помню. Это было отличное место. Вероятно, и Сегре отправился к Отто Штерну по этой же причине. Я не назвал бы эти поездки ошибочными, но они заранее не планировались. Такие путешествия Ферми поощрял. Наша группа в Риме была столь мала, что мы нуждались в поездках в разные места и в общении со множеством людей».
47. SHQP, р. 22.
48. CPEF, 1, р. 538. На конгрессе обсуждалось и другое важное направление итальянской физики — космические лучи; поэтому в число участников входили Милликен, Комптон и Росси.
- Описание как этого конгресса, так и ряда других, упоминающихся в настоящем тексте, можно найти в: Weiner Ch. *Institutional Settings for Scientific Change: Episodes from the History of Nuclear Physics*. — In: Thackray A. and Mendelsohn E. (eds.). *Science and Human Values*. New York, Humanities Press, 1976.
49. CPEF, 1, р. 548, комментарий Ф. Разетти.
50. Там же.
51. См. первую лекцию Амальди в Варенне (прим. 43), р. 297.
52. SHQP, р. 28. См. также CPEF, текст 78.
53. Frisch O. R. *The Discovery of Fission*. — In: “Physics Today”, 20, November, 1967, р. 44. Однако в отношении качества своих радиоактивных источников Рим был впереди многих других лабораторий.

54. Там же, с. 45. Описание аналогичного состояния дел в 1933 г. см. в интервью Отто Фриша: AIP, p. 19.

55. SHQP, p. 18.

56. Ценное обсуждение состояния теории в те годы содержится в названной в прим. 19 работе Вейнера и Харта, p. 121—193.

57. Там же, с. 17. Разетти добавляет: «...Надо отметить, что вплоть до этого времени идея нейтрино оставалась неясной гипотезой, и никто не пытался построить формальную теорию этого объекта... Вероятно, Ферми было нелегко овладеть методом вторичного квантования полей, развитым Дираком, Иорданом и Клейном, но в конце концов он справился с этой задачей и рассмотрел теорию бета-распада как один из примеров использования операторов рождения и уничтожения. Он также извлек пользу из формализма изотопического спина, лишь незадолго до того изобретенного Гейзенбергом, а позднее оказавшегося очень эффективным из-за зарядовой независимости сильных взаимодействий. Теория, построенная Ферми на этой основе, примечательна тем, что ее ценность не была поставлена под угрозу и в течение последующей четверти века революционных преобразований ядерной физики. Не будет преувеличением сказать, что редко когда физическая теория рождалась сразу в столь совершенной форме» (SPEF, p. 539).

58. "Nuovo Cimento". Supplement to vol. 2, series 10, № 2, 1955, p. 482.

59. «За несколько месяцев до того они уже знали, что облученный альфа-частицами алюминий испускает позитроны, но им ни разу не пришло на ум, что этот процесс может иметь некоторую длительность, так что испускание позитронов оказывается лишь финалом других ядерных превращений. Они наблюдали позитроны — и только. Лоуренс и его циклотронная группа в Калифорнии сделали ту же ошибку» (Frisch O. R. Op. cit., прим. 53, p. 45).

60. WEF, № 11, p. 6.

61. «Но когда супруги Жолио обнаружили радиоактивность, порождаемую альфа-частицами, мы уже были готовы, так сказать, прыгнуть в ядерную физику, ибо еще за два года до того мы стали развлекаться с камерами Вильсона, делать счетчики и все прочее, так что техникой мы действительно уже располагали. Мы еще не нашли проблемы, над которой стоило бы работать... Затем пришла статья Жолио, и Ферми немедленно начал искать радиоактивность. Он обнаружил ее, и тогда-то все и началось» (Интервью Амальди в SHQP, p. 28).

62. Там же, с. 26.

63. Радоновые источники были еще раньше предоставлены группе Ферми профессором Трабакки, чтобы использовать их в работе с гамма-спектрометром. Поэтому члены группы были уже знакомы с техникой приготовления радона. Относительно важности обладания хорошими источниками см. интервью Оккиалини в AIP, p. 4—5.

64. Frisch. Op. cit. (прим. 53), p. 46.

65. Интервью Амальди в SHQP, p. 26.

66. Амальди замечает, что лидерство римской группы физиков было потеряно отчасти из-за ухудшения общей политической си-

туации в Европе, и в частности в Италии, а отчасти из-за того, что находящиеся в ее распоряжении средства не соответствовали ее потребностям, так что относительно небольшая римская группа не могла продолжать конкурировать с другими лабораториями, которые имели доступ к ускорителям различных типов, а следовательно, к лучшим источникам частиц. См. материалы школы в Варенне (прим. 43), р. 324.

67. Относительно разделения труда в лаборатории Ферми см.: лекции Амальди в Варенне (прим. 43), р. 301; его же интервью в AIP, р. 13; EFP, р. 78—80; работу Сегре «Ферми и нейтронная физика», с. 258—259 (прим. 24). В этой последней говорится: «Нашу деятельность мы организовали так: Ферми [летом 1934 г.] должен был выполнить значительную часть экспериментов и расчетов, Амальди — позаботиться о том, что мы сегодня называем электроникой, я должен был приготовить радиоактивные источники и образцы для облучения, и т. п. Конечно, такое разделение ни в коей мере не было столь уж жестким и категоричным, и мы совместно участвовали во всех фазах работы, но у каждого все же была своя область, за которую он отвечал; мы двигались вперед очень быстро. Нам нужна была любая помощь, которую мы могли заполучить; и мы даже приобрели помощника в лице младшего брата одного из наших студентов, мальчика около двенадцати лет, убедив его в том, что ему предстоит очень важная и интересная работа: он должен был делать бумажные цилиндрики, которые служили у нас контейнерами для облучаемых препаратов...»

68. Эти данные приводятся Барбарой Бак в ее обзоре WEF.

69. Интервью Амальди в AIP, р. 38—40.

70. Для ознакомления с различными этапами развития физики космических лучей и физики высоких энергий см. работу Амальди в третьем томе материалов школы в Варенне (прим. 43), а также его статью «Италия» в журнале «Physics Today», v. 1, № 1, 1948, р. 35—36.

71. Впервые эта работа опубликована в «Ricerca Scientifica», 5, № 1, 1934, р. 283; затем она была перепечатана в CPEF, 1, р. 639—646.

72. Лекции Амальди в Варенне, р. 304.

73. Там же, с. 13.

74. Так, 23 апреля 1934 г. Резерфорд писал Ферми: «Дорогой Ферми, я хочу поблагодарить Вас за то, что Вы любезно послали мне отчет о Ваших новых экспериментах по возбуждению искусственной радиоактивности посредством нейтронного облучения. Ваши результаты чрезвычайно интересны, и нет сомнения, что в дальнейшем мы сможем получить больше данных относительно действительных механизмов таких превращений. Пока что совсем не ясно, что во всех случаях происходят столь же простые процессы, как и те, которые, кажется, имели место в наблюдениях Жолио».

Поздравляю Вас с Вашим успешным выходом из области теоретической физики! Вам пришла в голову хорошая идея относительно того, с чего именно следует начать... Мои поздравления и наилучшие пожелания. Искренне Ваш — Резерфорд» (оригинал этого письма хранится в Кавендишской лаборатории).

75. Эта фраза использована в статье Сегре, названной в прим. 24, р. 258.

76. Amaldi E. Production and Slowing Down of Neutrons.— In: Flüggе S. (ed.). Handbuch der Physic. Berlin, Springer Verlag, 1959, p. 64. «Однако во всех этих случаях поперечное сечение растёт вместе с увеличением скорости прежде всего из-за преодоления электростатического потенциального барьера. Но именно его и не бывает в случае нейтронной бомбардировки», как это вскоре стало ясно. См. также: Wheeler J. A. Mechanism of Fission.— In: "Physics Today", v. 20, № 11, November, 1967, p. 49. «Все оценки, когда-либо производившиеся ранее [до экспериментов Ферми с медленными нейтронами и загадочных резонансов, которые были тогда открыты.— Дж. Х.], показывали, что проходящая через ядро частица должна иметь крайне малую вероятность потери своей энергии за счет излучения и последующего захвата ядром — если только имевшаяся тогда теория ядра была надежной. Все же Ферми в полной противоположности с предсказаниями этой модели обнаружил [в октябре 1934 г.— Дж. Х.] в своих экспериментах огромные поперечные сечения и резонансы, находящиеся за рамками объяснений».

77. EFP, p. 26.

78. Там же, с. 36—37.

79. Там же, с. 10.

80. Выступление Сегре на сессии Американского физического общества в Вашингтоне 25 апреля 1972 г., с. 2 протокола.

81. Есть данные, что именно великий математик Гвидо Кастельнуово, познакомившись с Ферми, когда тот оказался как-то в гостях у него в доме, и будучи под сильным впечатлением от этой встречи, привлек к молодому человеку внимание Корбино. Ферми и в дальнейшем бывал у Кастельнуово и встречал здесь других математиков; многие из них интересовались теоретической физикой и могли оценить меру дарования Ферми. Эти сведения сообщены сыном Кастельнуово и Виком и зафиксированы в WEF (интервью с Кастельнуово — № 31, с. 4; интервью с Виком — № 11, р. 4). Вик считает даже, что именно математики первыми высказали идею относительно устройства Ферми в Римском университете.

82. SREF, 1, p. 120; перевод приведен в EFP, p. 26.

83. Там же, с. 26.

84. Жизнь Корбино, безусловно, заслуживает детального биографического описания, на чем справедливо настаивал Сегре в конце своего интервью в SHQP, р. 60—61. О нем много говорится у самого Сегре в EFP, а также в книге Лауры Ферми (прим. 16), равно как и во многих интервью, хотя бы в интервью Амальди, записанном в SHQP. Другим важным источником сведений о жизни О. М. Корбино является автобиография его брата Эникармо Корбино: Corbino E. Racconto di una Vita. Naples, Edizioni Scientifiche Italiane, 1972.

85. EFP, p. 30. Некоторые итальянские физики отмечали то, что они называли человеческой, «сицилийской» частью его натуры. Амальди добавляет, что почти все физики младшего поколения считали Корбино даже «слишком уж» сицилийцем, по крайней мере иногда; это проявлялось, например, в том, что для пре-

доставления кафедры наилучшему из кандидатов «Корбино пользовался практически теми же методами, которые можно было бы применять и для назначения неподходящего кандидата» (SHQP, p. 11).

86. EFP, p. 30.

87. См.: Ферми Лаура. Атомы у нас дома, с. 101—102.

88. Есть сведения, что физическую кафедру Корбино удалось создать только благодаря тому, что он использовал на это денежные фонды, предназначенные для всех естественных наук, причем за счет биологии. Здесь уместно заметить, что, как уже отмечалось, развитие итальянской биологии также могло бы пойти по другому пути, если бы она имела своего Корбино.

89. Интервью Амальди в SHQP, p. 13. Лаура Ферми, в то время занимавшаяся там же, вспоминает, что Корбино упоминал о двух новопробывших: Ферми и Разетти. См. также ее книгу «Атомы у нас дома», с. 63—64.

90. Вводные замечания Эмилио Сегре к переводу речи Корбино (прим. 30), p. 529.

91. EFP, p. 31. Это подтверждает и миссис Ферми.

92. Речь Корбино (прим. 30), p. 532.

93. Цит. в: EFP, p. 45.

94. Goudsmit S.—In: WEF, № 10, p. 5. Другие, однако, указывают, что способности Ферми были признаны столь широко, что ему в любом случае было предопределено занять ведущее положение в итальянской культурной жизни.

95. Brofferio A. Storio del Piemonte dal 1814 ai nostri giorni. Turin, Fontana, 1849—1852, pt. III, p. 89.

96. Так, для сенатора Корбино было естественным «позаботиться, чтобы результаты, [полученные группой Ферми в 1934 г.], были надлежащим образом представлены Итальянской академии деи Линччи на торжественной королевской сессии» (Сегре Э., прим. 24, с. 259).

Многие видные ученые — и естественники, и гуманитарии — получали сенаторское звание, что считалось как академической, так и политической почестью. Этот список включает Блазерна, Каниццаро, Кремона, Кроче, Гарбассо, Моссотти, Риги и Вольтерра.

97. Речь Корбино (прим. 30), p. 536.

98. Интересно, что Ферми не поколебался вести такую же кампанию и позже, когда приехал в США. Пресс-релиз Отдела публичной информации Колумбийского университета от 3 августа 1936 г. так излагает Ферми: «Наиболее явная из предвидимых областей применения искусственной радиоактивности — это медицина. Радий, будучи элементом с естественной радиоактивностью, используется для лечения рака. Совершенно новые радиоактивные вещества, созданные в лабораториях, должны дать в руки врачей и новые средства, часть из которых может оказаться полезнее радия». А после войны Ферми подчеркивал практическую полезность ядерных реакторов для изготовления радиоактивных изотопов, необходимых для медицинских исследований и терапии. К этому следовало бы добавить, что до открытия ядерного деления применение радиоактивности в медицине повсеместно считалось важнейшей областью ее использования. Ферми и его сотрудники часто отмечали эти практические аспекты, а взятый ими в октябре 1934 г.

патент относится в основном к использованию медленных нейтронов в целях практически оправданного производства радиоактивных изотопов.

99. Лаура Ферми вспоминает, что во время их свадебного путешествия в 1928 г. Ферми обсуждал возможность получения им когда-нибудь премии, однако при этом он перечислял физиков, которые, по его мнению, должны были получить Нобелевскую премию раньше него.

За период с 1901 по 1952 г. итальянцы получили следующие Нобелевские премии: в 1906 г. Камилло Гольджи совместно с испанцем Рамоном-и-Кахалем был удостоен этой премии по физиологии и медицине; в 1909 г. ее получил Маркони вместе с Ф. Брауном — за их достижения в области развития беспроволочной телеграфии; в 1938 г. нобелевским лауреатом стал Энрико Ферми. Три премии были присуждены за литературные достижения: их получили Дж. Кардуччи из Болоньи (1906), Г. Деледда (1926) и Л. Пиранделло (1934). Кроме того, в 1907 г. Эрнесто Теодоро Монета разделил Нобелевскую премию мира с Луи Рено из Парижа.

Этот обзор дает удобный случай отметить, что выражение *страна, второстепенная в научном отношении*, которое использовалось раньше и которое часто приходится слышать сейчас, нуждается, конечно, в дальнейшем уточнении. Это пробовал сделать, например, И. Бен-Давид. Однако для большей точности в той мере, в какой Нобелевские премии могут считаться мерилом национальной научной продуктивности (а это, безусловно, не лучший критерий), было бы полезным дополнительно изучить соответствующие цифры для Италии, с тем чтобы, соотнося их с данными для других стран, получить более точные оценки. Взяв, например, за ориентир (в основном из соображений удобства) 1952 г., можно найти, что Италия занимала в то время 6-е место (разделяя его со Швецией) по числу ученых, получивших целиком или разделивших Нобелевские премии по физике в течение 1901—1952 гг. Если же учитывать все Нобелевские премии за естественные науки (физика, химия, физиология и медицина), статус Италии окажется более низким: она попадет только на 10-е место, разделяя его с Канадой. Производя дальнейшие аналогичные вычисления, но только беря теперь за основу отношение числа нобелевских лауреатов к количеству населения, получим, что Италия вместе с Аргентиной займут лишь 16-е место. Эти подсчеты основываются на данных, приведенных в: Meier E. Alfred Nobel, Nobel Stiftung, Nobelpreise. Berlin, Duncker und Humblot, 1954.

100. Weiner Ch. A New Site for the Seminar: the Refugees and American Physics in the '30 s.— In: Fleming D. and Bailyn B. (eds.). The Intellectual Migration: Europe and America, 1930—1960. Cambridge, Mass., Harvard University Press, 1969, p. 190—234.

101. Там же, с. 193.

102. Там же, с. 195. См. также: Weiner Ch. Institutional Settings for scientific Change: Episodes from the History of Nuclear Physics (прим. 48).

103. AIP, p. 20.

104. EFP, p. 10.

105. AIP, p. 13—14.

106. См. статью Вейнера, названную в прим. 100.

107. Частично (но не целиком!) это явление можно объяснить недостаточной подвижностью итальянской университетской системы (например, для занятия большинства постов требовалось итальянское гражданство), а также ранними проявлениями антисемитизма со стороны Муссолини и других политиков.

108. Но это не является какой-то попыткой «объяснить» успех группы Ферми. Не все в мире «объяснимо», и менее всего такой феномен, как сам Ферми.

109. AIP, p. 1.

110. Амальди, соглашаясь с этой оценкой, отмечает, что Корбино «защищал всех нас от критики со стороны университетских традиционалистов». См. его лекции в Варенне (прим. 43), p. 317.

111. SHQP, p. 23—24.

112. Там же, с. 24.

113. См.: Ben-David I. *The Scientist's Role in Society*. Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hall, 1971, p. 140; см. также: Bell D. *The Coming of the Post-Industrial Society*. New York, Basic Books, 1973, p. 350—351. (Иосиф Бен-Давид — профессор социологии Еврейского университета в Иерусалиме, один из основателей исторической социологии науки. — *Прим. перев.*)

114. Ben-David I. *Op. cit.* (прим. 113), p. 156.

115. См.: Frisch O. *Op. cit.* (прим. 53), p. 43. Можно, однако, отыскать примеры и таких научных коллективов, у которых будут обнаруживаться аналогии с теми или иными аспектами группы Ферми, скажем лаборатория Камерлинг-Оннеса в Лейдене или лаборатория Роберта Милликена в Калифорнийском технологическом институте.

116. Интервью Разетти в SHQP, p. 11.

117. Там же, с. 13.

118. Интервью Сегре в SHQP, p. 7.

119. Интервью Сегре в AIP, p. 2.

120. Там же.

121. См. EFP, p. 7—8, а также дополнение, содержащее ранние письма Ферми к Персико. Персико вспоминал: «Считалось, что я должен стать инженером, и мои намерения изменились, вероятно, именно под влиянием бесед с Ферми, открывшим передо мною перспективу сделаться профессором физики» (интервью Персико в: SHQP, p. 10).

122. EFP, p. 40.

123. Ферми Лаура. Атомы у нас дома (прим. 16), с. 66.

124. Это слово появляется также и в книге Лауры Ферми, которая, правда, упускает его с некоторой небрежностью (с. 65). Упомянув об Амальди, она пишет здесь: «Вскоре его зачислили в эту разрастающуюся семью физиков и будущих ученых». Д-р Дж. Гудстейн сообщила мне, что подобные же квазисемейные отношения существовали в то время и среди итальянских математиков.

Однако необходимо, конечно, остерегаться использования слова «семья» для описания более поверхностных отношений, например типичных человеческих связей, существующих в научных институтах (от тех, в которые вступают сотрудники различных лабораторий, до тех, которые соединяют их с представителями де-

ловых кругов): такие связи характеризуются просто достаточно тесными личными контактами и профессиональным усердием.

125. EFR, p. 8.

126. В этой связи было бы интересно напомнить самые различные случаи «привлечения» в науку будущих ее участников членами их семей или более отдаленными родственниками; примеров этому существует немало. Так, первое знакомство Эйнштейна с физикой и математикой произошло благодаря его дяде; в выборе Отто Фришом карьеры физика сказалось влияние его тетки—Лизы Мейтнер; кроме того, нередко дети ученых, таких, как супруги Кюри, Бор или Томсон, сами потом начинают работать в тех же или близких областях исследований. Многие члены группы Ферми также испытали влияние своих родственников-ученых. Так, Сегре в возрасте 10 лет получил в подарок от своего дяди, известного геолога, экземпляр «Физики» Гано; Амальди был сыном математика, Разетти—племянником видного физиолога, у Майораны дядя был физиком.

Но этот механизм имеет и свои негативные стороны. Одна из них — дискриминация выходцев из других классов, которая иногда ограничивается чисто интеллектуальной сферой, а иногда оборачивается просто классово-профессиональной дискриминацией. В долгосрочной перспективе такие процессы могут вести к торможению развития науки в той или иной стране и к ненормальным явлениям в системе образования. Так, например, в одном из исследований отмечалось, что в Италии «только 6% университетских студентов выпило из среды ремесленников, 9% были детьми рабочих, а еще 9% — детьми крестьян. В то же время доля выходцев из семей предпринимателей и лиц свободных профессий непропорционально велика: хотя численность этой группы составляет лишь 8,6% мужского населения, их дети дают 60% общего числа студентов университетов. С другой стороны, доля детей рабочих в белых воротничках слишком мала». Эти данные об итальянской высшей школе опубликованы в: "Reports and Documents".—In: "Minerva", 2, № 2, Winter 1963, p. 210 и далее; цитированное место содержится на с. 213.

В этом документе названы и другие отрицательные аспекты, включая фрагментацию и распыление научных усилий по довольно большому числу мелких групп, работающих в разных частях Италии; явное преобладание итальянского Севера над Югом в отношении распределения исследовательских групп отмечено в работе: Quaranta A. A. Expenditure, Organisation, and Policy-Making in Scientific Research.—In: "Minerva", 2, № 2, Winter 1963, p. 217.

127. См.: Pontecorvo B. Fermi e la Fisica Moderna. Roma: Editori Riuniti, 1972, p. 30.

128. Напротив, в лаборатории Ферми царил непринужденная и дружеская атмосфера, когда все «были не прочь подшутиться во время работы, выкинуть какую-нибудь шутку или придумать какую-нибудь смешную чепуху» (Ферми Лаура. Атомы у нас дома, с. 69). См. также интервью Амальди в SHQP, p. 27: «Здесь проявлялись разительные отличия между характером Ферми и, вероятно, многих немцев... Мы постоянно шутили и никогда не относились к своей работе с излишней серьезностью... Люди же [в Лейпциге, куда Амальди ездил раньше.—Джс. X.] отличались

исключительной серьезностью и придерживались определенного стиля поведения. Они все время помнили, что являются учеными в духе всех классических традиций...»

Заметим в этой связи, что как в группе, работавшей под руководством Гарбассо во Флоренции, так, возможно, и в других научных центрах коллегиальные отношения не очень отличались от тех, которые существовали между членами римской группы. Окиалини специально подчеркивал в своем интервью в АИР существование этой феодальной и патриархальной модели организации исследований, добавив: «В Риме у них образ отца воплощал Корбино, а во Флоренции — Гарбассо» (АИР, р. 18).

129. Здесь могло иметь значение и то, что сам Корбино рос в большой и тесно связанной внутри себя семье, где царил унаследованная от прошлого традиционная иерархия: все члены клана периодически собирались на совет в их родовое гнездо в Сицилии. См. мемуары Эпикармо Корбино (прим. 84).

130. Несколькими годами позднее, в 1937 г., Ферми, Разетти и Амальди начали работать над сооружением линейного ускорителя Кокрофта—Уолтона, чтобы, используя соударения дейтронов, получить более интенсивные пучки нейтронов. А незадолго до отъезда Ферми из Италии началась работа над созданием протонного ускорителя на 1,1 Мэв, которая велась в Высшей школе здравоохранения, однако к декабрю 1938 г. ей было еще весьма далеко до завершения.

131. Интервью Серге в АИР, р. 8.

132. Там же, с. 10.

133. Аналогично этому, иногда высказываются сожаления по поводу того, что Ферми был далек от сотрудничества с промышленными корпорациями и не участвовал в прикладных исследованиях — к возможному ущербу для итальянской индустрии. Но здесь справедливости ради можно отметить, что связи Ферми с промышленностью в течение всего периода, предшествовавшего его фактически вынужденному отъезду, развивались все же по восходящей линии (например, когда начались работы над созданием ускорителя на 1,1 Мэв) и они могли бы стать более широкими и прочными, не вмешайся в них история.

134. См. "Agnelli Foundation Symposium", Torino, 1973. — In: C a v a z z a F. and G r a u b a r d S. R. (eds.). *Il Caso Italiano*. Milan, Garzanti, 1974.

135. "Review of National Science Policy — Italy". — In: "Report", № 25. 651. Paris, OECD, 1969.

136. Там же, с. 20. Бен-Давид подтвердил эти данные, указав, что национальные затраты на научные исследования и разработки составляли в Италии лишь 0,6% валового национального продукта. Указанная величина как минимум в два раза меньше соответствующих цифр для большинства других стран, за исключением Австрии, у которой эта доля еще ниже. См. работу И. Бен-Давида, названную в прим. 113, р. 164.

137. Отчет OECD, названный в прим. 135, р. 21.

138. Там же, с. 46.

139. Там же, с. 58.

140. Там же, с. 99.

141. Там же, с. 106. Впрочем, некоторые компетентные итальян-

яские наблюдатели полагают, что как это утверждение, так и общий тон отчета выдержаны в слишком мрачных тонах и что более детальное обследование могло бы дать иные результаты.

142. Там же, с. 140.

143. Я хочу выразить свою признательность доктору Фабио Кавацца из Фонда Агнелли за его великодушную помощь и поддержку в осуществлении архивных поисков и в получении документов; точно так же хотелось бы поблагодарить и ряд его коллег, ибо самые важные материалы были обнаружены именно при их содействии; и я, и мои студенты будем продолжать использовать в своей дальнейшей работе содержащиеся в них сведения.

Группа, возглавлявшаяся Джоном Кемени и Дональдом Бриттенем и работавшая под моим общим руководством, собрала много интервью с учеными и другими людьми, близко знавшими Ферми. Эти интервью пока не опубликованы; интервьюирование осуществлялось в связи с работой над документальным фильмом о жизни и деятельности Энрико Ферми, которая является частью программы подготовки экспериментальных физических курсов (см. прим. 15). Работа над фильмом была частично субсидирована Фондом Форда; работа над анализом интервью осуществлялась на средства, выделенные Секцией истории и философии науки Национального научного фонда США. Записи интервью (включающие беседы с Э. Амальди, У. Фано, Л. Ферми, Э. Фубини, Ф. Разетти, Бруно Росси, Э. Сегре и со многими италийскими сотрудниками и учениками Ферми) сохраняются в оригиналах в Джефферсоновской физической лаборатории Гарвардского университета, а их копии переданы на хранение в Центр истории физики Американского института физики (AIP) в Нью-Йорке.

Там же хранится другая группа более детальных интервью, собранных в основном Чарльзом Вейнером; среди опрашиваемых были Амальди, Бек, Кокрофт, Фриш, Голдхабер, Оккиалини, Сегре, Вик и ряд других ученых. Третья серия подробных интервью, куда входят, в частности, беседы с Амальди, Персико, Разетти и Сегре, была собрана Томасом Куном и его коллегами при осуществлении программы поисков источников истории квантовой физики. Оригиналы этих записей хранятся в архиве Американского философского общества в Филадельфии; их копии можно найти в других архивах, связанных с проектом SHQP. Я хотел бы с благодарностью упомянуть о той помощи, которую оказали мне директор и библиотекари этих архивов, так же как и многие другие люди, знавшие Ферми и работавшие в его окружении.

При написании этой работы я особое значение придавал информации, содержащейся в вышеназванных, в большей своей части не опубликованных, но доступных для ознакомления интервью. По мере возможности я старался цитировать именно их, а не более известные книги, однако не были забыты и книги. Особую роль здесь играли, естественно, «Избранные труды Энрико Ферми» (прим. 1) и две его биографии, написанные Эмилио Сегре (прим. 1) и Лаурой Ферми (прим. 16).

Кроме того, мне многое дало изучение трех лекций Эдоардо Амальди, прочитанных в Варенне (прим. 43). Физические аспекты исследований, обсуждавшихся мною в этой работе, рассматриваются в двух весьма авторитетных публикациях. В одной из них, в книге Франко Разетти «Элементы атомной физики» (Rasetti F.

Elements of Nuclear Physics. New York, Prentice-Hall, 1936), дается современная этим исследованиям интерпретация, которая очень интересна. Вторая — статья Э. Амальди «Получение и замедление нейтронов», названная в прим. 76, — написана более детально и представляет уже более новую точку зрения.

Другим основным источником была работа «Исследование истории ядерной физики», указанная в прим. 19. Эта книга содержит материалы двух конференций, собравших главных участников ядерных исследований. Приложения 2 и 3 к книге являются полезными обзорами относящихся к делу данных, оригинальных источников и других материалов, могущих быть важными информационными ресурсами при работе над историей ядерной физики. Ряд статей об открытии нейтрона и следствиях этого события, представленных мной на Десятый международный конгресс по истории науки, состоявшийся в Итаке (США) в 1962 г., включал работы Э. Сегре, Э. М. Перселла и С. Гаудсмита (прим. 18).

Полезным было также изучение коллекции личных документов Ферми, хранящейся в архиве Чикагского университета, а также архивов и библиотеки Физического института Римского университета и архивов Академии деи Линчеи.

Помимо моей собственной работы в этих архивах, огромная помощь была оказана профессором Дж. Табаррони из Модены. Через его посредство мы получили ценный документальный материал из архивов Итальянской академии, Центрального государственного архива в Риме и других источников, который проясняет не только деятельность группы Ферми, но также раннюю историю и роль в развитии итальянской физики таких научных ассоциаций, как Итальянское физическое общество и Итальянское общество содействия прогрессу науки. Этот материал и в дальнейшем будет сохранять для нас важность в связи с нашей последующей работой над историей физических наук в Италии. Я благодарен также доктору Туллио Дерензини из Дома Галилея в Пизе, который открыл мне доступ к хранящимся там лабораторным дневникам и другим документам группы Ферми.

Эдоардо Амальди, Лаура Ферми, Эмилио Сегре, Бруно Росси и Чарльз Вейнер прочитали черновик рукописи и высказали свои замечания, за что я им весьма признателен. Я благодарен также Барбаре Бак, Дэвиду Дж. Тэйлору и Кеннету Шварцу за их полезные обсуждения.

ДЖЕРАЛЬД ХОЛТОН И ЕГО КОНЦЕПЦИЯ ТЕМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Признание того, что история науки как отрасль знания в последние полтора-два десятилетия переживает процесс быстрого роста, а главное, что в этот период произошли серьезные, крутые сдвиги в теоретических основаниях и методологии историко-научных и историко-технических исследований, стало уже общепризнанным, чуть ли не трюизмом. Теперь совсем по-другому, чем прежде, видится образ науки. Можно сказать, что в современных историко-научных исследованиях он предстал в совершенно новом облике. Старая плоская кумулятивистская схема роста научного знания потеряла всякое доверие и престиж. Позитивистская философия, о ложности и бесплодности которой давно предупреждали марксисты, но которая долго сознательно и бессознательно служила многим историкам науки основой их историко-научных построений, в эти годы была не просто оставлена, но и основательно раскритикована именно в историко-научных исследованиях. Не будет преувеличением сказать, что эти годы были периодом бунта историков науки против позитивизма. Сложнее, глубже стали пониматься пути и движущие силы развития науки. В последние годы все явственнее становится отход от просветительского понимания роли науки в жизни общества, в судьбах человечества.

Эти и другие принципиальные изменения в понимании и освещении развития науки особенно бросаются в глаза в работах западноевропейских и американских историков науки. Понять причины этого нетрудно. Советской историко-научной школе, а у нас есть все основания говорить именно о школе в этой области, формировавшейся на основе марксистской философии, марксистско-ленинской тео-

рии развития науки, не пришлось переживать столь крутой ломки, таких резких поворотов в понимании и принципах освещения развития науки. Сдвиги и здесь огромные, но они в углублении анализа, расширении проблематики, вовлечении нового материала и во все более разностороннем его рассмотрении, все более тесном и тонком сочетании историко-научного, гносеологического, социального и культурно-исторического подходов к раскрытию феномена науки и его развития, а не в ломке исходных принципов. Поэтому эти сдвиги здесь менее заметны. Они не на поверхности, и, чтобы разглядеть и понять их, было бы недостаточно одного беглого взгляда, лишь ознакомления с двумя-тремя работами; надо вникнуть в содержание множества исследований, и тогда выяснится масштаб и глубина огромной творческой работы, проделанной советской школой историков науки, а затем и историками науки других социалистических стран.

В сущности, начало того поворота в зарубежной историографии науки, начало серьезной разработки методологии освещения развития науки, результаты которого теперь стали столь явными, во многом связаны с влиянием советских историко-научных исследований, благодаря которым после II Международного конгресса по истории науки (Лондон, 1931) началось быстрое ознакомление западноевропейских и американских историков науки с марксистской теорией ее развития, а вслед за тем и разработка ими многих новых проблем, впервые поставленных марксизмом. В их числе такие, как соотношение исторического и логического, и, конечно, прежде всего проблема социальной природы и социальной обусловленности развития науки, проблемы движущих сил и закономерностей движения научного знания.

Естественно, это не следует воспринимать слишком прямолинейно. Многие важные постановки вопросов, положения и выводы, с которыми мы встречаемся в работах западноевропейских и американских историков науки и которые нередко не просто напоминают, но действительно близки тем, что давно были выдвинуты марксизмом, далеко не всегда являются результатом непосредственного влияния марксистских работ. Иногда западноевропейские и американские историки науки, к собственному удивлению и вопреки внутреннему сопротивлению, приходят к ним с логической необходимостью из своих исследований

процесса развития науки. Это снова и снова подтверждает верность и огромную эвристическую силу марксистской философии. Но это означает также, что неправильно представлять каждое такое продвижение западноевропейской и американской историко-научной мысли к более адекватному, чем прежде, господствовавшему в ней отражению каких-то сторон в развитии науки чуть ли не как переворот в понимании науки и ее развития; в действительности же имеют место лишь существенные сдвиги в западноевропейской и американской историографии науки. Некоторые из ее результатов бесспорно представляют общий интерес своими новыми наблюдениями, подходами, выводами и представлениями. Ряд разработанных понятий, таких, как «научное сообщество», «парадигмы», «дисциплинарные матрицы», «исследовательская программа», быстро вошел в научный оборот. К сожалению, как это нередко бывает, из-за переоценки их значения и частого употребления они превращаются иногда просто в расхожие слова, утрачивая содержание, которое в них вкладывали их авторы. Как правильно заметил видный американский социолог науки Р. Мертон, от такого употребления им «грозит стать лишь модными словами»¹.

Не способствует правильному уяснению подлинного состояния науки и то, когда сосредоточивают все внимание на работах одних и тех же авторов. Так, в нашей литературе, характеризуя современные концепции развития науки, как правило, сразу же выстраивают ставший уже привычным ряд — Поппер, Лакатош, Кун, Фейерабенд, иногда, но реже, упоминается еще Тулмин. Это обедняет представление о процессах и поисках, которые ведутся в историографии науки, мешает раскрытию общей тенденции в ее развитии. А тенденция эта состоит, как и в самой науке, в преодолении позитивистских упрощенных представлений о науке и ее развитии, в стремлении ко все более разностороннему комплексному и тонкому анализу науки как феномена культуры, как продукта и в то же время важного фактора развития общества. Вместо позитивистского препарирования готового знания и его педантичного разложения на составляющие элементы все больше выдвигается на первый план исследование сложного

¹ Merton R. K. Thematic Analysis in Science: Notes on Holton's Concept. — In: "Science", Vol. 188, 1975, p. 335—338.

процесса возникновения и развития нового знания, и при- том как процесса, который не может быть достигнут пу- тем простого логического анализа, путем сведения всей сложности этого процесса только к логике движения науч- ных идей, без всестороннего внимания к социальным и психологическим факторам формирования ученого, науч- ной проблематики и самой научной деятельности.

Одним из ярких свидетельств этой тенденции являются исследования Джеральда Холтона. Они появились пример- но в те же годы, что и работы Куна, Лакатоша, Фейер- абенда. Нельзя сказать, что они не были замечены теми, кто работает в области истории и философии науки, осо- бенно на Западе. Однако историки и философы были на- столько увлечены в эти годы жаркими дискуссиями во- круг концепций Куна и Лакатоша, что работы Холтона, в которых развит ряд принципиальных и заслуживающих пристального внимания положений, не получили достой- ного отклика в среде ученых, исследующих историю и методологию науки, в том числе и в советской научной литературе. Вот почему я настойчиво рекомендовал изда- тельству «Прогресс» опубликовать сборник избранных ра- бот Холтона. Такие издания в наибольшей мере способ- ствуют привлечению внимания к тем положениям, кото- рые развивает их автор.

Джеральд Холтон родился в 1922 г. в Берлине. До 1938 г. он жил и учился в Вене. После захвата Австрии германскими фашистами Холтон покинул Австрию и учился сначала в Оксфорде, а потом в Гарвардском уни- верситете (США), где за работу по физике высоких давл- ений в 1948 г. получил степень доктора. Он был учени- ком, а затем сотрудником Перси Бриджмена. В настоящее время Дж. Холтон — профессор физики и истории науки Гарвардского университета.

Читатель уже познакомился с книгой Холтона (мало ведь кто начинает чтение книги с послесловия редактора), поэтому вряд ли здесь уместно подробное изложение ее содержания. Это было бы неуважительно и по отношению к автору, и по отношению к читателю. Отметим лишь самые существенные мысли Холтона и постараемся опре- делить их место в современной историографии науки. По- последнее, вероятно, особенно важно, если учесть стиль и ха- рактер работ Холтона. Р. Мертон в цитированном уже отзыве о сборнике работ Холтона пишет, что, пока шли

дискуссии вокруг концепций Куна, Лакатоша и др., «Холтон разрабатывал свою концепцию «тематического анализа» как инструмент историографии науки»¹. В этих дискуссиях участвовали в той или иной форме по меньшей мере несколько десятков ученых. Холтона, насколько мы знаем, среди них не было. Он нигде прямо не противопоставляет свою точку зрения общепринятой. Его статьи — это спокойные, вдумчивые рассуждения, в которых он опирается на работы других авторов, всегда при этом тщательно указывая их, но ни с кем за редким исключением не спорит. Создается впечатление, что он заботится лишь о том, чтобы изложить свои представления. Насколько они новы и насколько расходятся с тем, что думают и пишут об этом другие, пусть, мол, судит читатель. В этой связи некоторые разъяснения действительно могут быть полезными.

Прежде всего обращает на себя внимание та задача, которую ставит перед собой Холтон. «Я пытаюсь, — пишет он, — произвести тщательный анализ той фазы работы ученого, в которой происходит зарождение новых идей» (с. 7 настоящего издания). Это положение поставлено Холтоном на первое место во Введении к данной книге не случайно. Задача исследования процесса зарождения, становления нового знания является для него исходной. Она лежит в основе всех его поисков. Он поставил ее перед собой как главный предмет своих исследований. Это ясно видно уже в его статье «Тематическое воображение в науке»² и четко сформулировано в книге «Тематические истоки научной мысли: от Кеплера до Эйнштейна»³.

Казалось бы, что особенного в такой постановке вопроса? Для человека, не знакомого или только поверхностно знакомого с историко-научной литературой она может показаться совершенно естественной, если не тривиальной. И он будет по-своему прав, ибо чем же должна заниматься история науки, как не вскрывать и не показывать, каким образом возникает и развивается новое знание; и зачем она вообще нужна, если она не отвечает на этот вопрос? На деле все оказывается значительно сложнее.

¹ Там же.

² Holton G. The Thematic Imagination in Science. — In: "Science and Culture". Boston, Beacon Press Paperback, 1967, p. 88—108.

³ Holton G. Thematic Origins of Scientific Thought: Kepler to Einstein. Cambridge-Massachusetts, 1973.

Традиционно историки науки занимались главным образом описанием результатов научных исследований, т. е. готового знания, и значительно меньше — процессом его получения. На Западе позитивизм, в том числе его поздняя разновидность — логический позитивизм, возвел это в принцип. Вместе с тем психологи, занимавшиеся процессом научного творчества, утверждали, что процесс этот глубоко индивидуальный и не поддается объективному исследованию, что научное открытие — продукт озарения, особой интуиции гениальной личности и т. п. В результате область возникновения нового научного знания оставалась неизведанной пустыней, которую историки науки старательно стремились обходить, а попав в нее, побыстрее как-нибудь пересечь, испытывая чувство неловкости, что забрались на чужую территорию, хотя никто не знал, кому она принадлежит и вообще принадлежит ли она кому-либо.

Советские историки науки считали это положение ненормальным, возражали против такого отношения к проблеме возникновения нового знания и доказывали, что ее исследование не только необходимо, но и является одной из важнейших задач истории науки, без решения которой нельзя достичь ни научного освещения истории, ни всесторонней разработки теории развития науки. Я мог бы сослаться здесь на свои работы, начиная с 50-х годов, не потому, что считаю их лучшими, а просто потому, что они у меня под рукой и дать на них ссылки не составило бы особого труда. Но прежде всего надо напомнить о серии работ Б. М. Кедрова по истории открытия Д. И. Менделеевым Периодического закона, в том числе о его книге «День одного великого открытия» (1958), в которой чуть ли не час за часом скрупулезно прослеживается, как зарождался и созрел замысел ученого, как он постепенно оформлялся в исследовательскую задачу и наконец вылился в открытие, которое легло в фундамент современной химии. Эта серия работ по праву может считаться классической. Конечно, не всегда исследуемый материал позволяет с такой убедительностью раскрыть процесс зарождения и развития научной идеи, но серия исследований, о которой здесь говорится, на конкретном примере доказала принципиальные возможности в этой области. Можно назвать также такие советские коллективные труды, как «Научное творчество» (1968), «Научное открытие и его восприятие» (1973), в которых на разно-

образном конкретном историко-научном материале сделана попытка теоретического осмысления проблем научного творчества. Можно, вероятно, назвать и другие заслуживающие внимания работы (в том числе и зарубежные), в которых, преодолевая сильное сопротивление темы и материала, авторы приоткрывают завесы таинственности, окутывающие процесс научного творчества. И все же это лишь первые ласточки. А они, как известно, не делают весны. Но я бы не ставил здесь, как это принято говорить, точку. Хотя прилет отдельных ласточек и не делает весны, тем не менее он предвещает ее наступление. Но до весны в этих краях истории науки еще далеко. Слишком много на ее пути нагромождено баррикад и предубеждений. Даже сейчас, «когда, — как пишет Холтон, — ощущается реакция против той философии, которая видит в науке надисторический и не связанный никакими культурными рамками метод исследований» (с. 9), т. е. когда позитивизм потерпел крах, предубеждения еще не рассеялись. Напомним, что даже Т. Кун, чья книга «Структура научных революций» при всей ее дискуссионности сознательно направлена против позитивистского образа науки, упомянув сложность исследования проблемы возникновения нового знания, отказался ее рассматривать и подменил совсем другой проблемой — проблемой выбора учеными между двумя или несколькими уже сложившимися теориями¹.

Таким образом, Холтон начинает с того, перед чем остановился Кун и в нерешительности застывает большинство историков науки, не видя средств, с помощью которых они могли бы подступить к глубоко упрятанному от постороннего взгляда процессу формирования ученого и нового знания.

Однако правильно поставить проблему — это лишь полдела. Надо еще найти способы и средства ее решения. И Холтон настойчиво ищет их с начала 60-х годов. Прежде всего он обращает внимание на хорошо известное различие между тем сложным путем, который ученый проходит в своих поисках, и той формой, в которой полученные результаты входят в науку. Чтобы подчеркнуть это

¹ Рассмотрение этого принципиального недостатка книги Куна см.: Микулинский С. Р., Маркова Л. А. Чем интересна книга Куна? Послесловие к книге: Кун Т. Структура научных революций, изд. 2. М., «Прогресс», 1977, с. 288—290.

в общем-то признанное всеми различие, которое не всегда учитывается при построении модели развития науки, Холтон называет деятельность отдельного ученого «частной наукой», а науку, как она зафиксирована в научных публикациях, где стерты следы индивидуальных черт ученого, неповторимого своеобразия его поисков, мотивов, внутренней борьбы, не говоря уже о влиянии на творчество ученого окружающей его социальной среды, где научный поиск спрямляется в прямую логическую линию, называет «публичной наукой». «Первый аспект; — писал Холтон в упомянутой книге в 1973 г., — не должен оставаться скрытым, и его не следует считать недоступным рациональному изучению»¹.

Без этого нельзя построить модель развития науки, свободную, как выразился Холтон, от «полукарикатурного изображения науки», даваемого при интерналистском или экстерналистском подходе. «Большинство публикаций, — писал он там же, — представляют собой непосредственные прямолинейные реконструкции постепенного прогресса, осуществляемого по логическим законам, при простом взаимодействии между экспериментом, теорией и унаследованными понятиями. Знаменательно, однако, что это несправедливо как раз в отношении некоторых наиболее глубоких и плодотворных по своим последствиям работ. Здесь мы явно наблюдаем... нелогические, нелинейные и, следовательно, «иррациональные» элементы, которые накладываются на логику самих понятий. Имеется масса случаев, которые подтверждают роль «ненаучных» предпосылок, эмоциональных мотиваций, разнообразий темпераментов, интуитивных скачков, удачливости или невезения, не говоря уже о невероятном упорстве, с которым отстаиваются определенные идеи, вопреки тому факту, что они вступают в конфликт с очевидными экспериментальными данными, или о пренебрежении теориями, которые бы очень быстро разрешили экспериментальную загадку»².

В статье о роли определенных, сохраняющих преемственность в истории науки, ключевых тем в научном творчестве ученых различных эпох и в развитии науки

¹ Holton G. Thematic Origins of Scientific Thought; Kepler to Einstein, p. 15.

² Там же, с. 18.

(см. главу 1 настоящего издания) Холтон намечает восемь взаимосвязанных основных направлений историко-научных исследований, которые, на его взгляд, могут привести к более адекватному, близкому реальности пониманию и освещению истории науки. Во Введении, написанном специально для русского издания, путь, который видит Холтон для более глубокого раскрытия процесса возникновения нового знания, формулируется им в еще более обобщенной форме. Этот путь, по его мнению, состоит в том, чтобы каждое событие в истории науки рассматривать как пересечение трех траекторий: индивидуальность ученого, состояние науки, «публичного» научного знания в данное время и особенности социальных факторов, включая общий культурный контекст эпохи. Такой триединый подход весьма близок тому, который уже многие годы развивают советские историки науки, исходя из марксистско-ленинского понимания науки и ее развития. И он оправдал себя на примере многих исследований, где освещены не только результаты, но и то, как и благодаря чему они были получены, где логическое проступает спрямленным пунктиром множества разнообразных неповторимых исторических обстоятельств, где вскрывается роль особенностей формирования ученого, его мировоззрения, социальной среды, культурно-исторических условий, состояния науки, где индивидуальные черты личности ученого, социальные факторы и логика развития науки сплетаются в один тугой узел. Что касается самого Холтона, то его стремление к такого рода подходу, на мой взгляд, хорошо демонстрирует его статья «Вселенная Иоганна Кеплера, ее физика и метафизика» и ряд других работ, в которых он пытается показать не только движение научных идей, но и их истоки, своеобразие хода этого движения на разных этапах развития науки в зависимости от унаследованных знаний, господствующих убеждений, мировоззрения ученого и т. д.

Из всех направлений историко-научных исследований, о которых пишет Холтон в своей книге, он справедливо считает, что «наибольшее право претендовать на научную новизну» имеет предложенный им тематический анализ (с. 9). Поскольку его суть подробно изложена в данной книге, нет смысла вновь излагать ее здесь. Подчеркну лишь следующие, наиболее существенные, на мой взгляд, моменты.

1. Независимо от того, какой путь привел Холтона к идее тематического анализа и создания на его основе «трехмерного пространства»¹, в котором происходит движение научного знания и должно соответственно осуществляться его исследование, истоком этой идеи было стремление найти средства и методы проникнуть в сферу зарождения нового знания. В 1967 г. в уже упоминавшейся статье «Тематическое воображение в науке» Холтон отмечал, что в описании истории науки, как правило, строго руководствуются фактами и процессом индукции, но «ничего не говорится об источнике оригинальной индукции или о критериях предварительного выбора, которые неизбежно участвуют в научных решениях»². Этому, по мнению Холтона, и должен служить содержательный, тематический анализ. Приверженность определенным темам, определенному направлению исследований закладывается, по Холтону, нередко еще до начала активной исследовательской деятельности ученого, в процессе его формирования как творческой личности под влиянием воспитания, образования, социальной среды, мировоззрения, темперамента — словом, множества «ненаучных» факторов. Любой историк науки на основе своих исследований может подтвердить это мнение большим числом конкретных фактов. Сосредоточение на решении определенных преемственных, хотя и видоизменяющихся научных тем, по Холтону, служит в дальнейшем стимулирующим фактором развития науки, формирования и деятельности научных школ, длительных научных дискуссий, выбора направлений исследований. И здесь Холтон, несомненно, уловил одну из важных скрытых внутренних пружин постоянного напряжения научных поисков, новое поле историко-научных исследований.

2. Содержательный, тематический анализ помогает уловить, увидеть дополнительные формы сохранения преемственности в развитии науки, выявить то, что остается инвариантным в быстро сменяющихся друг друга научных теориях. «Трехмерная» модель Холтона, таким образом, избегает одного из существенных недостатков концепции Куна, в которой, помимо воли ее автора, в силу ошибоч-

¹ Holton G. The Thematic Imagination in Science.—In: "Science and Culture", p. 98.

² Там же, с. 89.

ности некоторых исходных принципов этой концепции, в сущности, перечеркивается преемственность в науке, являющаяся ее неотъемлемым свойством.

3. Холтон во Введении пишет, что человек, проявляющий интерес к тематическому анализу, не должен считать себя в силу этого ни позитивистом, ни антипозитивистом. Если не принимать во внимание мягкую, ненавязчивую манеру изложения Холтона, его стремление избегать жестких определений и прямой дискуссии со сторонниками альтернативных взглядов, то это заявление можно было бы принять за ироническое. Ведь само введение в модель науки тематического компонента, помимо эмпирического и аналитического, в корне противоречит позитивистскому взгляду на науку. Тем более противоречит этому взгляду то представление о путях развития науки, ради которого Холтоном предложен метод содержательного тематического анализа. В самом его основании лежит отрицание позитивистской концепции науки. А о таких статьях Холтона, как «Мах, Эйнштейн и поиски реальности» и другие, не приходится уже говорить. Их прямая антипозитивистская направленность очевидна. Напрасно только Холтон, стремясь показать, насколько далеко ушел Эйнштейн от философских установок Маха, ссылается только на прямые высказывания Эйнштейна по этому поводу. Те же выводы, которые делает Холтон, были бы значительно убедительнее, если бы гносеологические, философские взгляды Эйнштейна выявлялись на основе анализа его научных работ. В этом случае мы бы увидели, что и в ранних своих работах Эйнштейн вовсе не был таким последователем Маха, как это ему самому представлялось, и что 1921 год, когда Эйнштейн заявил о своих принципиальных расхождениях с Махом, вовсе не был уж таким существенным рубежом, как это может показаться по непосредственным заявлениям Эйнштейна¹.

4. Само понятие «тема», в том смысле, в каком оно применяется у Холтона, требует более строгого определения. Не случайно Холтон сам указывает на ограничения тематического анализа. Он также прав, говоря, что не следует понимать тему как «главную реальность научной работы». Научная мысль бьется не над темой, а над про-

¹ См. «Эйнштейн и философские проблемы физики XX в.». М., «Наука», 1979.

блемой. И, строго говоря, преобладающи в науке не темы, а фундаментальные проблемы, пока они не нашли своего решения. До тех пор, пока проблема не выявлена и не понято, в чем она состоит, тема не представляет ни для кого никакого интереса. Поэтому, видимо, было бы правильнее говорить не о тематическом, а о проблемном анализе. Но наиболее слабо разработанное звено в концепции Холтона — это источники возникновения новых тем. Он видит это и сам, но с его убеждением в том, что эта слабость, незавершенность концепции может быть преодолена путем объединения усилий когнитивной психологии и исследований индивидуальной научной деятельности, нельзя согласиться. Если это положение у Холтона не просто неудачное выражение его мысли, то оно противоречит его исходной посылке о том, что любое событие в истории науки есть результат пересечения по меньшей мере трех «траекторий», о которых речь шла выше. Ни логика, ни психология, ни социология сами по себе не могут снять эту труднейшую и, в сущности, основную проблему. Но самое любопытное здесь то, что представления, которые привели Холтона к идее тематического анализа, вдруг покинули его и оставили один на один с проблемой источников зарождения тем. Ведь он предложил тематический анализ как средство, метод более глубокого проникновения в фазу зарождения новых идей. А что собой представляет новая тема (в том понимании, о котором мы сейчас говорили) как не возникновение новой идеи? Значит, их источники должны быть те же самые, что и источники научных идей.

5. Не возникло ли отмеченное несоответствие между целью исследования, его исходным замыслом, мотивами и предварительными итогами в результате того, что автор, которому пришла счастливая идея проанализировать, нет ли в истории науки таких же устойчивых структур, как те, что обнаруживаются этнологами и фольклористами в мифах и фольклоре, далее все свое внимание сосредоточил почти исключительно на выявлении этих устойчивых структур в науке? Такая односторонняя направленность внимания — частое явление среди тех ученых, которые отваживаются на поиск в новом, нехоженом направлении. Это нередко приводит к односторонности, но без этого они вряд ли достигли бы результатов, к которым стремились.

Фундаментальные научные проблемы, или темы, как их называет Холтон, далеки по своей природе, происхождению и характеру от тех структурообразующих элементов, которые, как считают структуралисты, обнаруживаются в мифах и фольклоре. Самое существенное в научных проблемах не их устойчивость, а их развитие, преобразование. Даже для строго определенного, ограниченного отрезка времени, когда эти проблемы действительно создают структуру науки данного периода, они служат не столько кристаллической решеткой науки, сколько точками роста, центрами кристаллизации нового знания. Поэтому в научных темах, как и понятиях, следует видеть не только преемственность, но и качественные преобразования. Историки науки хорошо знают, что одни и те же понятия в процессе развития науки приобретали совсем другое, новое, а иногда и противоположное содержание. Одним из многих примеров этого служит изменение содержания понятия развития в биологии после признания теории Ч. Дарвина, да и, собственно, самого понятия эволюции. То же самое происходит и с темами. Таким образом, нельзя не согласиться с Холтоном, что тематический анализ «еще далек от завершения».

Много интересных фактов, наблюдений и выводов найдет читатель и в специальных историко-научных исследованиях Холтона, опубликованных в настоящей книге. Для них характерно использование архивных материалов¹, новых источников, широта постановки вопросов, стремление к полноте постижения факторов, воздействовавших на те или иные представления, концепции и теории, в том числе влияние мировоззрения, философии, общей культуры эпохи.

¹ Например, работая над исследованием творчества Кеплера, Холтон специально приезжал в 1963 г. в СССР, чтобы ознакомиться с рукописями Кеплера, хранящимися в Ленинграде. Второй раз он посетил нашу страну как участник XIII Международного конгресса по истории науки, на котором выступил с докладом «Новый подход к историческому анализу современной физики». Отметим, что уже в этом докладе (август 1971 г.) содержалось краткое изложение идеи тематического анализа и четко проводилась мысль, что каждое событие в истории науки для полноты его понимания требует рассмотрения с точки зрения общего состояния науки того времени, социальных условий и особенности личности ученого; в нем в общих чертах были сформулированы и те направления историко-научных исследований, о которых Холтон пишет во Введении к настоящей книге.

В настоящее время все яснее становится, что история науки — это мост, связывающий естественнонаучные и технические знания с гуманитарным знанием, средство раскрытия и анализа связи науки с общей культурой. Мост этот, правда, еще недостроен и не открыт для регулярного движения, и пока только наиболее смелые и дальновидные отваживаются идти по его шаткому и не везде скрепленному настилу. Между тем именно историографии науки, опирающейся на научную теорию общественного развития, принадлежит огромная общекультурная роль донести до сознания широкой общественности гуманистическую сущность науки, на протяжении почти трех столетий эксплуатировавшейся капитализмом исключительно в рамках системы «всеобщей полезности».

Конечно, в исследованиях Холтона одни положения вызовут вопросы, другие — несогласие и даже возражения. Это вполне естественно, когда мы имеем дело с исследованием недостаточно изученных и сложных проблем.

Книга Холтона, надеемся, вызовет интерес к себе не только специальными сведениями, но и как свидетельство все более зреющего понимания необходимости связи истории науки с теорией познания, социологией, со всеми общественными науками.

С. Р. Микулинский

- Абрагам М. 26, 27, 93, 154
 Авогадро А. 316, См. также
 Число Авогадро
 Аджено 314
 Адлер Д. В. 208 (прим. 43)
 Адлер Ф. 99
 Айер А. 74
 Айхельбург Р. 120
 Аккерман Т. 109 (прим. 14)
 Аллен Л. 343 (прим. 4)
 Аллисон С. 322
 Амальди Дж. (жена Эдоард
 Амальди) 315, 332, 336
 Амальди У. 335
 Амальди Э. 296, 298, 307—309,
 312, 314, 315, 319, 322, 328,
 331—333, 335—337, 343 (прим.
 9, 10), 344—345 (прим. 21),
 345 (прим. 29), 346 (прим.
 42, 43, 46, 51), 347 (прим. 61,
 65, 66), 348 (прим. 67, 69, 70,
 72), 350 (прим. 89), 352
 (прим. 110, 124), 353 (прим.
 126, 128), 354 (прим. 130),
 355—356 (прим. 143)
 Амидей А. 300, 304, 317, 327
 336—337
 Андерсон Д. 280—281 (прим.
 60)
 Баба Х. 329
 Бак Б. 356 (прим. 143)
 Барт Э. 71 (прим. 17)
 Бартоли А. 318
 Бейлин В. 351 (прим. 100)
 Бек К. 355 (прим. 143)
 Беккерель А. 215
 Белл К. 352 (прим. 113)
 Бен-Давид И. 332, 351 (прим.
 99), 352 (прим. 113, 114), 354
 (прим. 136)
 Бержер С. 340
 Беркли Дж. 110 (прим. 14), 183
 Берлин И. 217
 Бернардини Дж. 314, 343 (прим.
 4)
 Бессо В. 108 (прим. 2)
 Бессо М. 78, 80, 84, 88, 94, 99,
 105, 108 (прим. 2), 111 (прим.
 25), 120
 Бете Г. 329
 Биджмен Л. 230, 231, 236, 238,
 240, 241, 282 (прим. 64, 65)
 Бинне А. 187
 Битнер Л. 274 (прим. 5)
 Блазерна П. 318, 325, 350 (прим.
 96)
 Блох Ф. 329
 Блэкетт П. 309, 327
 Блэкмор Дж. 113 (прим. 35),
 114 (прим. 37), 277 (прим.
 24), 278 (прим. 27)
 Бойс К. 236
 Больцман Л. 95, 98, 269
 Бомпиани Э. 335
 Бор Нильс Б. 6, 8, 71 (прим. 21),
 104, 141, 151, 152, 159, 160—
 163, 164—166, 172—196, 198—
 202, 205 (прим. 1, 2), 206
 (прим. 5, 9, 15), 207 (прим.
 21, 22, 24, 25, 27, 28, 30, 31, 33),
 208 (прим. 38, 43, 47), 209
 (прим. 54, 56—58), 60, 63, 64—
 70), 210 (прим. 70—71), 245,

* Составлен А. Е. Левиным.

- 286 (прим. 105), 292 (прим. 131), 299, 302, 353 (прим. 126)
 Бор Ханс 196
 Бор Харальд 189, 191, 208 (прим. 43)
 Бор Христиан 189, 198, 199
 Борн М. 26, 43 (прим. 5), 101, 118 (прим. 67, 68), 141, 159, 214, 291 (прим. 129), 323
 Боте В. 176, 309
 Браге Тихо 49, 54—56, 58, 59, 61, 71 (прим. 14)
 Браун Ф. 351 (прим. 99)
 Браш Ст. 277 (прим. 21, 24)
 Бренгер И. 71 (прим. 14)
 Бриджмен П. 22, 111 (прим. 25), 118 (прим. 73)
 Брик О. 49, 70 (прим. 8)
 Бриттен Д. 355 (прим. 143)
 Бройль Луи де 116 (прим. 52), 162, 177
 Бройль Морис де 240, 288 (прим. 115), 289 (прим. 115)
 Брофферрио А. 350 (прим. 95)
 Брунер Дж. 196, 209 (прим. 57)
 Бухерер А. 93
 Бэр Р. 269, 291 (прим. 128), 293 (прим. 136, 146)
- Вайнберг Ст. 13, 18 (прим. 9), 28—36, 43 (прим. 6), 44 (прим. 9, 12—14)
 Вайскопф В. 311
 Варбург Э. 288 (прим. 115)
 Вейнберг Ч. 96, 117 (прим. 56, 62)
 Вейнер А. 113 (прим. 37)
 Вейнер Ч. 276 (прим. 12), 327, 344 (прим. 19), 346 (прим. 43, 48), 347 (прим. 56), 351 (прим. 100—102), 352 (прим. 106), 355 (прим. 143), 356 (прим. 143)
 Вероятностное описание 176
 Взаимодействие между приборами и объектами 163, 164
 Вик Дж. К. 312, 314, 349 (прим. 81), 355 (прим. 143)
 Вильсон Г. А. 218, 230, 231, 234, 238, 277 (прим. 17), 281 (прим. 63), 282 (прим. 65), 307, 308. См. также *Камера Вильсона*
- Вин В. 288 (прим. 115)
 Витело (Вителлий) 61, 168
 Вольта А. 159, 163, 317
 Вольтерра В. 319, 336, 350 (прим. 96)
- Гайтель Х. 281 (прим. 62)
 Галилей Г. 22, 46, 50, 54, 55, 59, 65, 71 (прим. 23), 72 (прим. 27), 98, 148, 161, 169
 Галлей Э. 70 (прим. 13)
 Гальвани Л. 199
 Ган О. 236, 295, 343 (прим. 3)
 Ганс А. 276 (прим. 15)
 Гарбассо А. 318, 343 (прим. 4), 350 (прим. 96), 354 (прим. 128)
 Гаудсмит С. 309, 329, 350 (прим. 94), 356 (прим. 143)
 Гегель Г. В. Ф. 192
 Гейгер Г. 176, 231, 237, 238, 240, 282 (прим. 65), 286 (прим. 105), См. также *Счетчик Гейгера*
 Гейзенберг В. 36, 37, 39, 45 (прим. 18, 19), 114 (прим. 37), 118—119 (прим. 73), 157 (прим. 9), 159, 160, 177, 178, 190, 195, 207 (прим. 30), 309, 323, 347 (прим. 57)
 Гейл Г. 280 (прим. 54)
 Гелл-Манн М. 23, 45 (прим. 15), 344 (прим. 14)
 Гелм Г. 220
 Геринг Г. Э. 114 (прим. 37)
 Гернек Ф. 95, 111 (прим. 26), 112 (прим. 31), 114 (прим. 39, 40), 117 (прим. 54)
 Гесс В. 284 (прим. 80)
 Гете И. В. 185, 189
 Гильберт Д. 112 (прим. 31)
 Гносеология (философия познания, эпистемология) 72, 74, 78, 79, 81, 84, 85, 87, 90, 93, 100, 102, 106, 107, 110 (прим. 19), 118 (прим. 67, 73), 119 (прим. 74), 120—122, 142, 197, 198, 202, 207 (прим. 31), 220, 267, 268, 272, 323.
 — и наука 106, 107, 120
 Голдбек Э. 49, 69 (прим. 6)
 Голдбергер М. 344 (прим. 14)
 Голдхабер М. 355 (прим. 143)

- Гольджи К. 351 (прим. 99)
 Гольдштейн Э. 236
 Гофмансталь У. 77
 Граубо С. 354 (прим. 134)
 Гроссман М. 81, 84, 101, 112
 (прим. 30)
 Группа Ферми 295, 296, 299,
 300, 302, 304, 305—307, 308,
 309, 312—315, 319, 321, 322,
 326, 328—342, 347—348 (прим.
 66), 348 (прим. 67)
 — и развитие итальянской
 физики 295, 296, 314, 340—
 342
 — и институт коллективного
 авторства 315, 338
 — и новый способ научных
 коммуникаций (рассылка
 препринтов) 315, 329—330
 — структура и организация
 313, 314, 330—339
 Гудстейн Дж. 274, 276 (прим.
 15), 352 (прим. 124)
 Гук Р. 325
 Гюи Ш. 92
- Д'Агостино О. 296, 312, 328
 Дайсон Ф. 28
 Дальтон Дж. 259
 Дебай П. 159, 308
 Декарт Р. 46, 71 (прим. 23)
 Деледда Г. 351 (прим. 99)
 Делокаров К. X. 108
 Демокрит 32, 36, 37
 Дерензини Т. 356 (прим. 143)
 Джеммер М. 71 (прим. 18), 174,
 185, 187, 205 (прим. 4), 206
 (прим. 6, 13), 207 (прим.
 17—19), 208 (прим. 41, 42, 48)
 Джемс У. 109 (прим. 14), 179,
 183—188, 191, 194, 195, 203,
 207 (прим. 30), 208 (прим.
 34—37)
 Джилберт У. 50
 Дибнер Б. 113 (прим. 37)
 Дик Р. 109 (прим. 14)
 Динглер Г. 111 (прим. 26), 113
 (прим. 37), 114 (прим. 37,
 39), 117 (прим. 62), 118
 (прим. 70)
 Дирак П. А. М. 116 (прим. 52),
 149, 274, 275—276 (прим. 12),
 300, 304, 347 (прим. 57)
- Дополнительность 27, 159,
 162—166, 169, 170, 172, 175,
 179, 180—182, 186, 187, 190,
 192, 195—200, 202—204, 205—
 206 (прим. 4), 207 (прим.
 23), 210 (прим. 70)
 Дополнительность психологи-
 ческих состояний в концеп-
 ции У. Джемса 188
 Дрейер Дж. 70 (прим. 1)
 Друде П. 226
 Дю-Бридж Л. 276 (прим. 14)
 Дюгем П. 220
- Евклид 167
- Жане П. 187, 188
 Жигмонди Р. 237, 266
 Жолио-Кюри Фредерик и Ирен
 310, 311, 312, 328, 347 (прим.
 61)
- Закон рычага Архимеда 59
 Закон Стокса 25, 218, 230, 234,
 239, 240, 243, 244, 246, 248,
 266, 285, 286 (прим. 98) 286
 (прим. 103), 288 (прим. 112),
 290 (прим. 123)
 Закон тяготения Ньютона (за-
 кон обратных квадратов) 53,
 70 (прим. 13), 145, 146
 Законы Кеплера 50, 53, 54, 58,
 59, 60, 70 (прим. 12, 13)
 Законы природы 30, 39, 65
 Заряд электропа, измерение
 218, 224, 226, 227, 229—231,
 232—234, 235, 236, 238—245,
 246—260, 263—267, 275 (прим.
 12), 277 (прим. 17), 281
 (прим. 63)
 — и фундаментальные про-
 блемы физики 213, 227, 246,
 247, 269, 278 (прим. 31), 292
 (прим. 131)
- Зеeman П. 218, 229, 308
 Зелиг К. 78, 115 (прим. 50), 157
 Зидентопф Г. 266
 Знание научное 8
 Зоммерфельд 117 (прим. 59),
 159, 177, 214, 309
- Ив А. 236
 Инфельд Л. 79, 157

- Иордан П. 323, 347 (прим. 57)
 Иоффе А. Ф. 288 (прим. 115)
 Историография науки 50, 42, 211, 212
 История науки 8, 15, 19—22, 42, 78—183
 Итальянская математика 319
 Итальянская физика 295—297, 314, 316—318, 322—324, 340, 341—342
- Кавацца Ф. 354 (прим. 134), 355 (прим. 143)
 Камера Вильсона 220, 230, 307—309, 347 (прим. 61)
 Камерлинг-Оннес Х. 408 (прим. 5), 352 (прим. 115)
 Каннинхэм Э. 285 (прим. 92)
 Канинциаро С. 350 (прим. 96)
 Кант И. 110 (прим. 19), 117 (прим. 61), 183, 190, 192
 Капуста Дж. 275 (прим. 10)
 Кардуччи Дж. 351 (прим. 99)
 Карнап Р. 74, 117 (прим. 63)
 Каррара Н. 298, 318
 Каспар М. 69 (прим. 2, 5), 70 (прим. 11)
 Кастельнуово Г. 318, 319, 335, 336, 349 (прим. 81)
 Кауфман В. 92, 93, 115 (прим. 45, 48)
 «Качественная диалектика» Кьеркегора 192—194
 Квантовая механика (физика) 13, 14, 35—37, 39, 116 (прим. 52), 117 (прим. 52), 118 (прим. 67), 141, 149, 152, 156 (прим. 4), 160, 162, 165, 174, 175, 177, 178, 192, 194, 197, 201, 202, 205 (прим. 4), 297, 303, 304, 335, 337, 343 (прим. 4)
 Квантовая электродинамика 28, 87
 Кевлз Д. 274, 276 (прим. 14)
 Кедров Б. М. 362
 Кейзер Г. 71 (прим. 20)
 Кемени Дж. 355 (прим. 143)
 Кеплер И. 6, 20, 46—68, 69—72 (прим. 2, 3, 5—8, 10—14, 16, 18, 24, 27), 102, 151, 168, 169
 Кеплеровские темы—см. *Темы Кеплера*
- Кермоде Ф. 151
 Кёрбер Г. 408 (прим. 3)
 Киральность 27
 Кирхгоф Г. Р. 98
 Китс Дж. 291 (прим. 129)
 Классическая нерелятивистская (ньютоновская) механика 74, 110 (прим. 19), 132, 145, 153, 174, 175
 Классическая физика 77, 160—162, 167, 174, 175, 194
 Классическая электродинамика 174—175
 Клейн О. 179, 189, 190, 207 (прим. 21), 208 (прим. 38, 40), 347 (прим. 57)
 Клейн Ф. 112 (прим. 31)
 Клейнерт А. 278 (прим. 26)
 Кнудсен В. 285 (прим. 93)
 Койре А. 70 (прим. 10)
 Кокрофт Дж. 310, 327, 355 (прим. 143)
 Кольнер Б. 274
 Кольрауш К. 284 (прим. 80)
 Кольридж С. 291 (прим. 129)
 Комpton А. X. 159, 161, 173, 176, 324, 346 (прим. 48)
 Конверси М. 314
 Конт О. 125
 Контекст оправдания 20
 Контекст открытия 20
 Континуум 176, 177, См. также *Тема континуума*
 Коперник Н. 11, 12, 49, 50, 52, 54—56, 58—60, 62, 70 (прим. 6, 7), 71 (прим. 14), 139, 190
 Корбино О. М. 296, 305, 306, 308, 311, 316, 318, 319—326, 328, 330, 331, 334—339, 342, 345 (прим. 30, 32—34), 346 (прим. 35—40), 349 (прим. 81, 84, 85), 30 (прим. 85, 88—90, 92, 96, 97), 352 (прим. 110), 354 (прим. 128, 129)
 Корбино Э. 349 (прим. 84), 354 (прим. 129)
 Коэн Дж. 280 (прим. 50)
 Коэн Р. 117 (прим. 63)
 Крамерс Г. 176, 206 (прим. 15)
 Крафт В. 110 (прим. 23)
 Кремона Л. 319, 350 (прим. 96)
 Крониг Р. 335
 Кроче Б. 350 (прим. 96)

- Круглак Х. 264, 275 (прим. 10)
 Кун Т. С. 71 (прим. 18), 183,
 184, 207 (прим. 30), 282 (прим.
 66), 286 (прим. 105), 343
 (прим. 4), 355 (прим. 143),
 359, 360, 361, 363, 366
 Куранта А. 353 (прим. 126)
 Кьеркегор С. 191—194, 203, 208
 (прим. 47)
 Кэджори Ф. 70 (прим. 13), 71
 (прим. 15)
 Кюри-Склодовская Мария 299,
 309
 Кюри Пьер и Мария 353
 (прим. 126)
- Лав А. 237
 Лаванши Ш. 92
 Лазарус Д. 344 (прим. 14)
 Лайман Т. 237
 Лампа А. 83, 113 (прим. 37),
 221—223, 272, 277 (прим. 23),
 278 (прим. 26—28, 30), 284
 (прим. 80), 293 (прим. 151,
 155)
 Ланг В. фон 219, 222, 272
 Ланжевен П. 288—299 (прим.
 115)
 Ланцош К. 100, 118 (прим. 69)
 Лармор Дж. 77, 238, 285 (прим.
 92)
 Ларю Дж. 276 (прим. 12)
 Лассаль Л. 291 (прим. 127)
 Лауэ М. фон 26, 37, 43 (прим.
 5), 159
 Ла Фойетт М. 116
 Леви-Чивита Т. 318, 319, 335,
 336
 Ле Корбюзье 15, 18 (прим. 10)
 Ленард Ф. 226
 Ленин В. И. 111
 Леопольд II, великий герцог
 Тосканский 325
 Лехнер Э. 219
 Ли Т. Д. 344 (прим. 14)
 Ливингстон Д. 206 (прим. 14)
 Ливингстон М. 310
 Линней К. 314
 Логика науки 22
 Лодж О. 237
 Локиер У. 236
 Лонгомонтан Х. 70 (прим. 9)
 Лондон Ф. 329
 Лоренц Г. А. 26, 79, 85, 87, 92,
 96, 139, 144, 146, 154, 159, 229,
 269
 Ло Сардо А. 321, 322, 331
 Лоу Б. 210 (прим. 7)
 Лоуз Дж. 16
 Лоуренс Э. 297, 310, 325, 347
 (прим. 59)
 Лоуэлл П. 237
 Лоэб Ж. 293 (прим. 154)
 Лэтти Р. 282 (прим. 65)
- Майкельсон А. 87, 176, 213,
 217, 218, 326
 Майорана Э. 296, 307, 310, 319,
 335, 353 (прим. 126)
 Майр Э. 17 (прим. 3)
 Макалузо Д. 318
 Маккехан Л. 288 (прим. 115)
 Маккиннон Э. 279 (прим. 39)
 Макормак Р. 276 (прим. 13)
 Максвелл Дж. К. 85, 99, 146,
 148, 149, 173, 174, 190, 220,
 228, 280 (прим. 57)
 Маркони Г. 318, 351 (прим. 99)
 Маротта Д. 339
 Мах Л. 89
 Мах Э. 74—91, 93, 95—103, 105,
 106, 108, 109 (прим. 11—14),
 110 (прим. 14, 15, 19, 22—24),
 111 (прим. 24, 26, 27), 112
 (прим. 29, 31, 32, 34), 113
 (прим. 35, 37), 114 (прим.
 37—39), 115 (прим. 41), 117
 (прим. 54, 56—58, 60—62),
 119 (прим. 73, 74), 121, 125,
 126 (прим. 13), 156 (прим.
 5), 190, 201—203, 209 (прим.
 57), 220—223, 270—272, 277
 (прим. 23, 24), 278 (прим.
 25—28, 30), 293 (прим. 151)
 Медавар П. 157 (прим. 10), 211,
 250, 274 (прим. 1 и 2)
 Мейер Ст. 219
 Мейер Э. 351 (прим. 99)
 Мейер-Абих К. 184, 185, 187,
 207 (прим. 32), 209 (прим.
 65)
 Мейерсон Э. 87, 190
 Мейтнер Л. 296, 308, 309, 312,
 353 (прим. 126)
 Мендель Г. 259
 Мендельсон Э. 346 (прим. 48)
 Мертон Р. К. 17 (прим. 2), 43
 (прим. 1, 3)

- Мерц Дж. 74, 108 (прим. 6)
 Местлин М. 55, 56, 71 (прим. 21), 72 (прим. 25)
 Метафизика 41, 46—48, 57, 62, 76, 91, 98, 103, 105
 Мёллер К. 329
 Мёллер П. 179, 180, 186, 200, 207 (прим. 24)
 Мизес Р. фон 110 (прим. 23)
 Мизнер Ч. 17 (прим. 4)
 Миллер А. 281 (прим. 60)
 Миллер Д. 237
 Милликен Р. 25, 41, 153, 159, 173, 212—220, 222—236, 238—251, 253, 255—262, 265—267, 269—271, 274, 274—275 (прим. 5), 275 (прим. 6, 7, 11, 12), 276 (прим. 12, 14, 15), 277 (прим. 17, 22), 278 (прим. 31—35), 279 (прим. 36—38, 43—50), 280 (прим. 50—55), 281 (прим. 60, 61, 63), 282 (прим. 64, 65, 67—74), 283 (прим. 74—76), 284 (прим. 76, 82), 285 (прим. 84, 91—98), 286 (прим. 98—105), 287 (прим. 106—108), 288 (прим. 110, 113, 115), 289 (прим. 115—120), 290 (прим. 121—123), 291 (прим. 126, 127), 292 (прим. 131—133), 293 (прим. 136, 137), 308, 346 (прим. 48), 352 (прим. 115)
 Милликен С. Ф. 216
 Милликиеновские темы — см. *Темы Милликена*
 Милль Дж. С. 126
 Минковский Г. 79, 80, 85, 95, 96, 97, 101, 284 (прим. 80)
 Мировоззрение ученого 41
 Миттельштадт П. 157 (прим. 8)
 Монета Э. Т. 351 (прим. 99)
 Моссотти О. 350 (прим. 96)
 Музиль Р. 77
 Мур Р. 208 (прим. 43), 209 (прим. 70)
 Мюллер Г. 113 (прим. 35)
 Мюллер И. 169, 206 (прим. 10)
 Мюррей Г. 255
 Нагель Э. 283 (прим. 75), 291 (прим. 130)
 Най М. 225, 227 (прим. 21), 279 (прим. 41)
 Научная деятельность 7, 8, 11, 14, 15, 20, 23, 25—28, 40, 211, 212, 324, 328—330
 Научная парадигма 41
 Научная революция 9, 27, 41, 304
 Научная теория: критерии истинности и совершенства 84, 137—142, 147, 148, 150
 Научная теория и опыт 84, 88—91, 93, 95, 98, 105—107, 116 (прим. 52), 119 (прим. 73), 124—130, 134—138 — цели и принципы конструирования 88, 90, 91, 101, 103, 124—134, 135, 136, 148—150
 Научное воображение 7, 8, 24, 28, 38, 40, 197
 Научное открытие 20, 47, 88, 123, 211, 212, 261, 267, 334
 Научное сообщество 24, 28, 39, 41, 42, 234, 319, 323, 324, 326, 328, 342
 Научные законы 58, 81, 103, 104, 152
 Научные изменения 9, 143—148, 153—155, 212
 Неeman Ю. 45 (прим. 15)
 Несбит Р. 17 (прим. 5)
 Нильсен Дж. 208 (прим. 47), 209 (прим. 70)
 Нормальная наука 41
 Ньютон И. 20, 26, 39, 46, 48—50, 54, 56—58, 69 (прим. 3), 70 (прим. 13), 89, 94, 98, 110 (прим. 19), 117 (прим. 58), 146, 148, 153, 155, 161, 169, 170, 190
 Оккам У. 23
 Оккалини Дж. 296, 327, 343 (прим. 4), 347 (прим. 63), 354 (прим. 128), 355 (прим. 143)
 Ошпенгеймер Р. 13, 203, 210 (прим. 71)
 Оррир Дж. 344 (прим. 14)
 Оствальд Вильгельм 41, 74—75, 106, 109 (прим. 2), 156 (прим. 5), 220, 273, 276 (прим. 13)

- Оствальд Вольфганг (сын Вильгельма Оствальда) 216, 276 (прим. 13)
- Пайерлс Р. 329
- Пайс А. 281 (прим. 60)
- Панчини Э. 314
- Пассмор Дж. 192, 209 (прим. 149)
- Паули В. 62, 71 (прим. 19), 159, 178, 309, 323
- Пеано Дж. 319
- Пеграм Дж. 321
- Перрен Ж. 214, 216, 225, 240, 273, 288 (прим. 115), 293 (прим. 154)
- Перселл Э. 356 (прим. 143)
- Персико Э. 303, 319, 335, 345 (прим. 22, 23), 352 (прим. 121), 355 (прим. 143)
- Петерсен А. 183
- Петцольд И. 80, 110 (прим. 24), 111, 113 (прим. 35), 114 (прим. 39), 117 (прим. 59)
- Пик Г. 83, 222, 278 (прим. 30)
- Пиранделло Л. 351 (прим. 99)
- Пирани Ф. 112 (прим. 29)
- Пифагор 56
- Пиччиони О. 314
- Планк М. 17—18 (прим. 5), 23, 37, 41, 59, 82—84, 87, 96, 99, 102—104, 106, 111 (прим. 26), 115 (прим. 48), 118 (прим. 71), 119 (прим. 74, 75, 77), 154, 157 (прим. 13), 159, 160, 177, 214, 222, 229, 273, 278 (прим. 25), 293 (прим. 152)
- Платон 37, 56, 58, 65, 71 (прим. 23), 167
- Плачек Г. 329
- Позитивизм 80, 81, 84, 99, 103, 104, 106, 110 (прим. 22, 24), 111 (прим. 25), 125, 130, 156 (прим. 5), 156 (прим. 7), 277 (прим. 23), 303
- Познание 10, 159, 164, 170, 201, 203, 204
- и здравый смысл 170
- и реальность 76, 80, 82, 90, 97, 98, 100—107, 111—112 (прим. 27), 124—130
- Пойнтинг Дж. 237
- Понтекорво Б. 296, 333, 335, 344 (прим. 13, 17), 345 (прим. 39), 353 (прим. 127)
- Поппер К. 212, 261, 274 (прим. 4), 291 (прим. 130)
- Прибор 162, 163—165, 170—172, 175, 182
- Прибрам К. 219, 263, 287 (прим. 108), 288 (прим. 112), 289 (прим. 115), 292—293 (прим. 134)
- Принцип дополнительности Бора—см. *Дополнительность*
- Принцип Маха (в механике) 83, 109 (прим. 14), 113 (прим. 29)
- Принцип наименьшего времени Ферма 171
- Принцип (соотношение) неопределенности Гейзенберга 39, 170, 205—206 (прим. 4)
- Принцип относительности Эйнштейна 127
- Принцип соответствия Бора 175, 176, 178, 195
- Принцип «экономии мышления» Маха 77, 82, 98, 111 (прим. 24, 27)
- Принцип эквивалентности Эйнштейна 84, 85, 94, 100, 132
- Приостановка доверия к научным результатам 261
- Приостановка недоверия к научным результатам 261
- Причинность 160, 161, 170, 171, 176, 177, 190, 199
- Причинность классическая 205 (прим. 4)
- Прокл Диадох 58, 61
- Промежуточный векторный бозон (ПВБ) 29, 30, 34, 44 (прим. 8, 11)
- Проут У. 32
- Пуанкаре А. 26, 41, 79, 87, 115 (прим. 49), 120, 207 (прим. 20)
- «Публичная» наука 8, 20, 21, 43 (прим. 3)
- Пульзе П. 274
- Пуччианти Л. 304
- Пьюпин М. 217, 220, 228
- Радиоактивность искусственная 294, 295, 311, 312, 314

- Радиоактивность индуцированная нейтронным облучением 294, 295, 314, 330, 333, 348 (прим. 74)
- Разетти Ф. 296, 297, 301, 304, 307—309, 312, 318, 319, 321, 334—336, 344 (прим. 12, 17), 345 (прим. 29), 346 (прим. 45), 347 (прим. 57), 350 (прим. 89), 352 (прим. 116—117), 353 (прим. 126), 354 (прим. 130), 355 (прим. 143), 356 (прим. 143)
- Рака Дж. 343 (прим. 4)
- Раман Ч. 329
- Рамон-и-Кахаль С. 351 (прим. 99)
- Рассел Б. 105
- Рациональность 10, 20
- Реальность физическая 56—58, 76, 79, 80, 88, 91, 97, 99, 103, 104, 105, 112 (прим. 29), 161
- Регенер Э. 240, 288 (прим. 115)
- Редукционизм 22, 27, 203
- Резерфорд Э. 173, 225, 229, 231—233, 236—239, 240, 258, 279 (прим. 40), 280 (прим. 55, 56), 285 (прим. 84—90), 286 (прим. 105), 298, 299, 302, 305—307, 309, 312, 314, 328, 338, 345 (прим. 28), 346 (прим. 41), 348 (прим. 74)
- Рейзер А. 109 (прим. 10)
- Рейхенбах Г. 113 (прим. 37), 156 (прим. 7), 212, 274 (прим. 3)
- Рено Л. 351 (прим. 99)
- Рентген Конрад 217
- Риги А. 317, 320, 324, 350 (прим. 96)
- Риман Б. 80
- Риччи-Курбастро Г. 319
- Робинсон Л. 289 (прим. 116)
- Розенблют М. 344 (прим. 14)
- Розенталь Ст. 166, 207 (прим. 21, 23), 208 (прим. 38, 39, 47), 209 (прим. 55, 61, 64, 66)
- Розенталь-Шнейдер И. 94
- Розенфельд А. 344 (прим. 14)
- Розенфельд Л. 180, 184, 195, 198, 200, 207 (прим. 23, 24, 31), 209 (прим. 55, 61, 62, 64, 66), 210 (прим. 70)
- Рончи В. 206 (прим. 10)
- Росси Б. 309, 312, 343 (прим. 4), 346 (прим. 48), 355 (прим. 143), 356 (прим. 143)
- Рубенс Г. 288 (прим. 115)
- Рубин 183—184, 190
- Рэлей (Дж. Уильям Стрэтт, барон Рэлей) 237
- Саймон А. 176
- Салам А. 29
- Сантйяна Дж. де 70 (прим. 12), 71 (прим. 23)
- Саутер И. 75
- Свет, его природа 161, 164, 167—170, 173
- Севери Ф. 319
- Сегре Ф. 345 (прим. 30)
- Сегре Э. 295—299, 304, 307, 308, 310, 312, 319, 322, 328—330, 334—339, 343 (прим. 1, 6), 344 (прим. 21), 345 (прим. 24, 29, 31), 346 (прим. 43, 44, 46), 348 (прим. 67), 349 (прим. 75, 77—80, 84), 350 (прим. 90, 96), 352 (прим. 118—120), 353 (прим. 126), 354 (прим. 131, 132), 355—356 (прим. 143)
- Сексл Р. 120
- Сила Кориолиса 23
- Система мира Аристотеля-Птолемея 49
- Коперника 49
- Кеплера 49, 50, 54, 60
- Ситтер В. де 8
- Слэтер Дж. 176, 206 (прим. 15)
- Смолуховский М. 216, 219
- Соловин М. 121—123, 133, 134, 142, 156 (прим. 4)
- Сопка К. 292 (прим. 132)
- Спиноза Б. 183, 190
- Стодола А. 101
- Стоней Дж. 237
- Стьюер Р. 292 (прим. 132)
- Субэлектроны Эренхафта 214, 246, 268, 269
- Субэлектроны и кварки 275 (прим. 12)
- Счетчик Гейгера 220, 309
- Сэйлсбери Т. 72 (прим. 27)

- Табаррони Дж. 356 (прим. 143)
 Таунсенд Дж. 218, 230, 234, 238,
 279 (прим. 43), 281 (прим.
 62), 282 (прим. 65)
 Твен Марк 217
 Тебнер Б. 117 (прим. 53)
 Теллер Э. 329
 Тема (определение тем, их
 возникновение, динамика,
 свойства и функции) 8, 9, 11,
 24—28, 30, 33, 34, 35, 39—42,
 44 (прим. 12), 151, 167, 178,
 197, 203
 Тема методологическая 22, 26,
 30, 33
 Тематическая ориентация 162
 Тематический анализ науки 9,
 10, 14, 24, 25, 27, 30, 39—42
 Тематическое понятие 26, 30
 Тематическое предположение
 (тематическая гипотеза, те-
 матическая предпосылка)
 26, 30, 32, 150—152, 292
 (прим. 133)
 Тематическое утверждение 26
 Темы и тематические структу-
 ры (примеры):
 Анализ — синтез 9, 31—32
 Атомизм 32, 36, 41, 44 (прим.
 13), 197, 271
 Иерархия и единство 27, 33,
 34
 Изотропия 35
 Инвариантность 152
 Классическая причинность—
 вероятностная причинность
 152, 165, 178
 Континуум 26, 33, 36, 42, 152,
 271
 Неизменность — эволюция —
 катастрофы 9
 Необходимость 12, 13, 152
 Непрерывность — дискрет-
 ность 9, 33, 36, 165, 177, 178
 Однородность 35
 Полнота 152
 Пробабелизм (тема вероят-
 ностного описания реаль-
 ности) 39
 Простота 12, 13, 27, 152
 Симметрия 26, 35, 37, 152
 Сложность — простота 9
 Сохранение 35
 Хаос — порядок 38, 39
 Холизм и редукционизм 22,
 27
 Эволюция и регресс 27
 Темы Кеплера 68
 Темы Милликена 262, 292
 (прим. 133)
 Темы Эйнштейна 151, 152
 Теория относительности (об-
 щая и специальная) 7, 13,
 26, 78—80, 82, 85—87, 89, 92,
 94, 95—97, 100, 105, 110 (прим.
 14), 111 (прим. 24, 26), 112
 (прим. 33), 113 (прим. 37),
 115 (прим. 41, 48, 49), 117
 (прим. 62, 65), 118 (прим.
 67), 127, 129, 144, 145, 147,
 152, 153, 203, 297, 300, 303, 325
 Томонага С. 28
 Томсен Х. 189
 Томсон Дж. Дж. 32, 218, 226,
 228—231, 234, 236—238, 273,
 281 (прим. 63), 282 (прим.
 65), 353 (прим. 126)
 Томсон У. (лорд Кельвин) 228,
 229, 280 (прим. 56, 59)
 Трабакки Дж. 296, 338, 347
 (прим. 63)
 Трикоми Ф. 335
 Туве М. А. 174, 206 (прим. 12)
 Тулмин Ст. 17 (прим. 2), 278
 (прим. 25)
 Тьель Дж. 114 (прим. 39)
 Тэйлор Д. 356 (прим. 143)
 Тэкэрэй А. 346 (прим. 48)
 Уарпоу Дж. 274
 Уилер Дж. 118 (прим. 69), 349
 (прим. 76)
 Уильямсон Р. 134
 Уленбек Дж. 329
 Уолтон Э. 310
 Уравнение Клейна-Гордона 116
 (прим. 52)
 — Шредингера 116 (прим.
 52)
 Ускоритель Кокрофта-Уолтона
 310, 354 (прим. 130)
 Фабрициус Д. 56, 69 (прим. 4),
 70 (прим. 10)
 Фалес Милетский 33
 Фано У. 314, 355 (прим. 143)

- Фарадей М. 130, 213
 Фейерабенд П. 277 (прим. 20)
 Фейнман Р. 20, 28
 Ферми А. (отец Энрико Ферми) 336
 Ферми Дж. (брат Энрико Ферми) 335
 Ферми Л. (жена Энрико Ферми) 336, 337, 344 (прим. 16), 349 (прим. 84), 350 (прим. 87, 89, 91), 351 (прим. 99), 352 (прим. 123, 124), 353 (прим. 128), 355 (прим. 143), 356 (прим. 143)
 Ферми Э. (см. также *Группа Ферми*) 28, 40, 159, 267, 294—309, 311—342, 343 (прим. 1, 4), 344 (прим. 14, 15, 17, 21), 345 (прим. 21, 23, 24, 25, 28—30), 346 (прим. 43, 44, 46), 347 (прим. 57, 61, 63), 348 (прим. 67, 74), 349 (прим. 76, 81), 350 (прим. 94, 96, 98), 351 (прим. 99), 352 (прим. 108, 115, 121), 353 (прим. 127, 128), 354 (прим. 130, 133), 355 (прим. 143), 356 (прим. 143)
 Фехнер Г. 191
 Фёшль А. 79, 95
 Философия науки 8, 15, 73, 89, 120, 121, 130, 283 (прим. 75), 303
 Финберг Э. 329
 Флеминг Д. 351 (прим. 100)
 Флетчер Г. 245, 249, 285 (прим. 93), 286 (прим. 98), 287 (прим. 106), 288 (прим. 111), 290 (прим. 121)
 Флюгге Э. 349 (прим. 76)
 Форман П. 343 (прим. 4)
 Фотоэффект 173, 262
 Франк Дж. 159
 Франк Ф. 22, 83, 95, 103, 110 (прим. 22, 23), 111 (прим. 26), 112 (прим. 28), 114 (прим. 39), 115 (прим. 41), 117 (прим. 54, 55), 118 (прим. 72, 73), 158, 219, 222, 277 (прим. 19), 278 (прим. 26, 30), 284 (прим. 80)
 Франклин Б. 227, 279 (прим. 50), 280 (прим. 50, 55, 56)
 Фрейд З. 112 (прим. 31), 203
 Френч А. 156 (прим. 2)
 Фриш О. 296, 299, 312, 327, 346 (прим. 53), 347 (прим. 54, 59, 64), 352 (прим. 115), 353 (прим. 126)
 Фрутон Дж. 17 (прим. 4)
 Фубини Э. 355 (прим. 143)
 Фуко Ж. 219
 Фэйрбэнк У. 276 (прим. 12)
 Хазенёрль Ф. 219, 284 (прим. 80), 289 (прим. 115)
 Хазерт Ф. 44 (прим. 10)
 Харрэ Р. 279 (прим. 39)
 Харт Э. 344 (прим. 19), 347 (прим. 56)
 Хвольсон О. Д. 214
 Хейлброн Дж. 282 (прим. 66), 286 (прим. 105), 343 (прим. 4)
 Хельм Г. 74, 112 (прим. 31)
 Хёфдинг Х. 183, 189, 190—194, 201, 202, 208 (прим. 43—45), 209 (прим. 50—53)
 Хибард А. 276 (прим. 12)
 Хиберт Э. 274, 277 (прим. 21)
 Хигатсбергер М. 274
 Хилд М. 275 (прим. 10)
 Хойенбург Х. фон 69 (прим. 5), 70 (прим. 9, 10), 71 (прим. 23), 72 (прим. 26, 27), 102
 Хоффманн Б. 158
 Христиансен Х. 189
 Циклотрон 297, 308, 310, 347 (прим. 59)
 Чандрасекар С. 294, 343 (прим. 1)
 «Частная» наука 20, 21, 43 (прим. 3)
 Чедвик Д. 302, 307, 310, 346 (прим. 4)
 Чемберлен О. 344 (прим. 14)
 Число Авогадро 213, 250
 Число Рейнльдса 23
 Шварц К. 356 (прим. 143)
 Швейдлер Э. фон 219, 284 (прим. 80)
 Швингер Дж. 28

- Шекланд Р. 113 (прим. 36)
 Шиллер И. К. Ф. 162, 196
 Шилп П. 109 (прим. 9), 111 (прим. 25), 115 (прим. 41), 117 (прим. 63), 118 (прим. 72), 119 (прим. 78), 120, 124, 128—130, 132, 137, 139, 141, 152, 156 (прим. 2, 5), 157 (прим. 7), 157 (список материалов), 206 (прим. 8), 274 (прим. 3), 291 (прим. 130)
 Шлик М. 76, 97, 103, 109 (прим. 13), 270, 277 (прим. 23), 293 (прим. 147)
 Шпайзер А. 72 (прим. 24)
 Шредингер Э. 36, 37, 116 (прим. 52), 162, 176, 178, 195, 207 (прим. 16), 304
 Шталло И. 74, 220
 Штейн А. 293 (прим. 149)
 Штек М. 72 (прим. 24)
 Штелль К. 210 (прим. 71)
 Штерн О. 159, 308, 346 (прим. 46)
 Штралендорф, барон 72 (прим. 28)
 Штрассман Ф. 295, 343 (прим. 3)
 Штраус Э. 13
 Шустер А. 229, 237, 280 (прим. 58)
- Эддингтон А. 94
 Эйнштейн А. 6, 7, 8, 13, 15, 17—18 (прим. 5), 20, 24, 26, 36—39, 41, 42, 45 (прим. 20, 21), 73—75, 77—96, 98—107, 108 (прим. 2, 4, 5, 7), 109 (прим. 9, 10, 13), 110 (прим. 15, 16, 19, 20, 22), 111 (прим. 24—26), 112 (прим. 29—31, 33, 35), 113 (прим. 37), 114 (прим. 37—41), 115 (прим. 41, 43, 44, 48, 50, 51), 116 (прим. 52), 117 (прим. 54, 62, 64, 65), 118 (прим. 67—69, 72, 73), 119 (прим. 73, 74, 76, 78), 120—146, 149—155, 156 (прим. 1, 2, 4—6), 157 (прим. 11), 157—158, 159, 161, 164, 173, 177, 195, 205 (прим. 3), 206 (прим. 5, 8, 11), 208 (прим. 38), 214, 216, 219, 223, 262, 267, 270, 276 (прим. 13), 277 (прим. 19, 23), 278 (прим. 30), 279 (прим. 41), 284 (прим. 80), 288 (прим. 115), 292 (прим. 131), 293 (прим. 153), 353 (прим. 126)
 Эйнштейн Г. (отец А. Эйнштейна) 73, 74
 Эйнштейновские темы — см.:
Темы Эйнштейна
 Экзистенциализм 192
 Эксперимент Гейзенберга с гамма-микроскопом (мысленный) 160
 — Комптона 173
 — Майкельсона 7
 — Милликена с масляными каплями 25, 214, 215, 224, 239, 248—260, 261, 267, 283 (прим. 75)
 — Иьютона с вращающимся ведром 84, 111 (прим. 24)
 — Ферми с замедленными нейтронами 294, 295, 315, 316
 Эксперимент физический 163, 283 (прим. 75)
 Элементарность в микрофизике 32—34, 37
 Эллис Ч. 307, 309, 346 (прим. 4)
 Элстер И. 281 (прим. 62)
 Эндрюс М. Д. 216
 Эприкес Дж. 318, 337
 Эприкес Дж.-младший (сын Дж. Эприкеса) 334, 335
 Эпниус Ф. У. Т. 228, 280 (прим. 56)
 Энстайн П. 276 (прим. 14)
 Эренфест П. 85
 Эренхафт Д. 274
 Эренхафт Ф. 153, 212—216, 219, 222, 234—238, 240, 241, 245—248, 258, 259, 262—273, 274—275 (прим. 5), 275 (прим. 12), 276 (прим. 13), 277 (прим. 18, 20), 278 (прим. 26), 283 (прим. 76), 284 (прим. 77—80), 285—286 (прим. 98), 287 (прим. 108—110), 288 (прим. 112—115), 289 (прим. 115), 292 (прим. 134), 293 (прим. 135, 138—145, 149, 150, 155)
 — и махизм 272—273

Этвеш Л. 94
Эфир 26, 27, 41, 75, 77, 85, 228,
236
Эффект Зеемана 218
— Комптона 161
Юкава Х. 326
Юм Д. 88, 110 (прим. 19), 128,
131, 183, 190

Юнг К. 41, 71 (прим. 19)
Ядерная физика 304—307, 309,
321, 328, 342
Язык научного описания ре-
альности 162, 163, 172, 177,
181, 186, 201
Янгер Д. 17 (прим. 5)
Яуманн Г. 222, 223

СОДЕРЖАНИЕ

От издательства	5.
Введение .	7
I. Темы в научном мышлении	19
II. Вселенная Иоганна Кеплера: ее физика и мета- физика	46
III. Мах, Эйнштейн и поиск реальности	73
IV. Эйнштейновская модель построения научной тео- рии	120
V. Корни дополнителности	159
VI. Субэлектроны, исходные предпосылки и спор между Милликеном и Эренхафтом	211
VII. Группа Ферми и возвращение Италией своего ме- ста в физике	294
<i>С. Р. Микулинский.</i> Джеральд Холтон и его концепция тематического анализа	357
Указатель	371

Дж. Холтон
ТЕМАТИЧЕСКИЙ
АНАЛИЗ НАУКИ

Редактор русского текста

И. В. Пронченко

Художник *А. Д. Смеляков*

Художественный редактор *А. Д. Суима*

Технические редакторы *Н. А. Кронова* и

А. М. Токер

Корректор *В. Ф. Пестова*

ИБ № 9423

Сдано в набор 23.07.80. Подписано в печать 22.01.81. Формат 84×108^{1/32}. Бумага типографская № 2. Гарнитура об. новая. Печать высокая. Условн. печ. л. 20,16. Уч.-изд. л. 21,99. Тираж 8500 экз. Заказ 767. Цена 1 р. 50 к. Изд. № 31248.

Издательство «Прогресс» Государственного комитета СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.

Москва 119021, Зубовский бульвар, 17
Московская типография № 11 Союзполиграфпрома Государственного комитета СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 113105, Москва, Нагатинская ул., д. 1