Традиция в науке[76]

Празднуя пятисотлетие со дня рождения Коперника, мы вспоминаем о том, что наша сегодняшняя наука продолжает его дело, что направление, намеченное его астрономическими исследованиями, до сих пор во многом определяет научную работу нашей современности. Мы убеждены, что наши современные проблемы, наши методы, наши научные понятия по меньшей мере отчасти вытекают из научной традиции, сопровождающей или направляющей науку в ее многовековой истории. Поэтому вполне естественно спросить, в какой мере наша сегодняшняя деятельность обусловливается или формируется традицией. *Проблемы*, которыми мы заняты, — избираются нами свободно, исходя из наших интересов и наклонностей, или же они заданы нам определенным историческим процессом? Наши научные методы — насколько мы способны их устанавливать сами с учетом наших целей и насколько мы опять же следуем в них какой-то до нас сложившейся традиции? Насколько мы, наконец, свободны в выборе понятий, служащих для формулировки наших вопрошаний? Научную деятельность вообще только и можно определить таким образом, что она формулирует вопросы, на которые мы желали бы иметь ответы. А чтобы формулировать вопросы, нам нужны понятия, с помощью которых мы надеемся фиксировать феномены. Понятия эти обычно заимствуются из предшествующей истории науки; они уже сами по себе внушают нам ту или иную правдоподобную картину мира явлений. Однако, если мы хотим вступить в какую-то новую область явлений, эти понятия могут неожиданно сработать и в качестве комплекса предрассудков, скорее задерживающих, чем ускоряющих наше движение. Тем не менее нам все равно приходится применять понятия, причем мы поневоле вынуждены обращаться к тем, которые нам предлагает традиция. Я попытаюсь в этой связи рассмотреть влияние традиции прежде всего на выбор проблем, затем — на методологию

науки и наконец — на употребление понятий как рабочих инструментов.

Насколько мы связаны традицией при выборе своих проблем? Оглянувшись на историю науки, мы увидим, что периоды интенсивной деятельности сменяются долгими периодами застоя. В Древней Греции философы начали ставить фундаментальные вопросы относительно явлений природы. Задолго до того человек приобрел немалые практические познания; были накоплены важные навыки в архитектуре, в обработке и транспортировке каменных глыб, в кораблестроении и т. д. Однако лишь после Пифагора эти навыки были дополнены научной постановкой вопросов. Пифагор и его ученики открыли значение математических пропорций в природных явлениях, и это привело к великолепному расцвету математики, астрономии и натурфилософии. С закатом греческой науки после эллинистической эпохи, после Птолемея — ее последнего великого астронома — начинается долгий период застоя, тянувшийся вплоть до итальянского Ренессанса. В этот период стагнации снова имело место замечательное развитие практического знания, приведшее арабские страны на высокую ступень цивилизации; однако оно не сопровождалось соответствующим развитием науки, более глубоким истолкованием явлений природы. Только спустя тысячелетие с лишком, после того, как гуманизм и Ренессанс указали путь к бóльшей свободе мышления, а первопроходцы показали возможность расширения освоенной части планеты, открытиями Коперника, Галилея и Кеплера была ознаменована новая фаза научной активности. Эта активность продолжается вплоть до наших дней, и мы не знаем, продержится ли она еще долгое время или уступит место какой-то новой фазе, когда человеческий интерес обратится к совсем другим направлениям.

Бросая ретроспективный взгляд на историю, мы видим, что наша свобода в выборе проблем, похоже, очень невелика. Мы привязаны к движению нашей истории, наша жизнь есть частица этого движения, а наша свобода выбора ограничена, по-видимому, волей решать, хотим мы или не хотим участвовать в развитии, которое совершается в нашей современности независимо от того, вносим ли мы в него какой-то свой вклад или нет. Наше личное действие без благоприятствующего ему исторического развития оказалось бы, скорее всего, бесплодным. Если бы Эйнштейн жил в XII веке, у него было бы очень мало шансов стать хорошим ученым. И даже в такой плодо-

творный период, как наш, ученый не так уж свободен в выборе своей проблематики. Наоборот, можно сказать, что проблемы нам заданы, что нам не приходится их изобретать. Это относится к искусству, наверное, не меньше, чем к науке. Когда в XV веке голландские художники открыли для себя возможность изображать людей как активных членов своего общества, многие одаренные люди увлеклись такой возможностью и соревновались между собою в решении этой продиктованной общими условиями человеческой жизни проблемы. В XVIII веке Гайдн попытался выразить в своих струнных квартетах настроения, давшие о себе знать в современной ему литературе, в книгах Руссо, в «Вертере» Гёте; и после этого в Вене сошлись музыканты более молодого поколения — Моцарт, Бетховен, Шуберт, — соперничавшие между собою в разрешении той же проблемы. В наше столетие развитие физики навело Нильса Бора на мысль, что эксперименты Резерфорда с альфа-лучами, теория излучения Макса Планка и факты, установленные химией, можно обобщить в единой теории; в последующие годы многие молодые физики съехались в Копенгагене, чтобы сотрудничать в разрешении этой поставленной перед ними проблемы. Не приходится сомневаться, что в деле выбора проблемы традиция, ход исторического развития играют существенную роль.

Временами это обстоятельство может проявляться и в негативном смысле. Может случиться, что традиционные темы окажутся исчерпанными и одаренные люди повернутся спиной к области, в которой они уже не видят более цели для своей деятельности. После Фомы Аквинского философам надоели теологические и философские проблемы схоластики, и они обратились к гуманизму. В наше время, похоже, исчерпаны традиционные темы искусства. Одна из известнейших регулярных выставок модернистского искусства в Германии, «Документа» в Касселе, в последний раз стала центром скорее политической пропаганды, чем искусства, а на фасаде здания выставки молодые художники вывесили огромный плакат с надписью: «Искусство излишне». Аналогичным образом мы не можем исключить той возможности, что когда-то темы науки и техники истощатся, молодому поколению надоест наша рационалистическая и прагматическая установка, и оно обратит свой интерес к совершенно иной деятельности. Впрочем, сейчас в чистой и прикладной науке имеется пока еще много проблем, ис-

кусственно выдумывать которые не приходится, и учителя передоверят их своим ученикам.

В данной связи важно подчеркнуть совершенно исключительную роль личных взаимоотношений в процессе развития науки и искусства. Это не обязательно отношения между учителем и учеником, речь может идти просто о личной дружбе или взаимном уважении между людьми, работающими ради одной и той же цели. В этом, по-видимому, и состоит наиболее действенное орудие традиции. Из многочисленных примеров, на которых можно показать такое действие традиции, я приведу лишь несколько, из которых видно, как личные отношения отражались на истории физики первой половины нашего века. Эйнштейн был хорошим знакомым Планка, он переписывался с Зоммерфельдом по вопросам теории относительности и квантовой теории, он был связан тесной дружбой с Максом Борном, хотя так и не смог сойтись с ним в статистической интерпретации квантовой теории, он обсуждал с Нильсом Бором и философские выводы из принципа неопределенности. Научный анализ крайне трудных проблем, поднятых теорией относительности и квантовой теорией, в значительной мере проводился фактически в личных беседах между активными участниками исследования.

Институт Зоммерфельда в Мюнхене был в начале двадцатых годов центром атомных исследований, в группу Зоммерфельда входили Паули, Вентцель, Лапорте, Ленц и многие другие, причем мы почти ежедневно обсуждали там трудности и парадоксы, возникавшие при интерпретации новейших экспериментов. Когда Зоммерфельд получал письмо от Эйнштейна или Бора, он зачитывал важные части письма на семинаре, и тотчас же начиналась дискуссия вокруг принципиальных проблем. Нильс Бор был тесно связан с лордом Резерфордом, Отто Ганом, Лизой Метнер и считал, что постоянный обмен информацией между экспериментаторами и теоретиками является делом первостепенного значения для успеха физической науки. Огромное влияние, которое в свое время Нильс Бор оказывал на физику, объяснялось прежде всего не его публикациями, а тем, что он постоянно обсуждал со своими коллегами принципиальные проблемы квантовой теории, не имевшие, как он знал, легких решений. Когда Шрёдингер выступил со своей волновой механикой. Бор сразу понял, что это важный новый аспект квантовой теории, но что простой заменой электронных орбит в атоме трехмерными материальными волнами реальных трудно-

стей не разрешить. И снова он счел личную дискуссию с автором теории единственной возможностью проанализировать проблему. Шрёдингер был приглашен в Копенгаген, и за две недели крайне интенсивных обсуждений был проторен путь к следующему шагу в интерпретации квантовой теории — к понятию дополнительности и к соотношениям неопределенностей. Нет надобности распространяться об этом. Совершенно ясно, что личные связи играют решающую роль в прогрессе науки и при выборе проблем для исследования.

Естественно, при выборе проблем учеными руководят и другие мотивы, тоже сыгравшие важную роль в истории науки. Известнейший из этих мотивов—практическая приложимость науки. Уже в древности интерес к астрономии и математике подогревался тем, что познания в этих областях оказались полезными для мореплавания и землемерия. Мореплавание играло очень важную роль в XV веке, когда первооткрыватели оставили пределы Европы и Средиземноморья и отправились на запад. Явно не простая случайность, что Коперник сделал свои открытия вскоре после начала этой эпохи. Защищая идеи Коперника, Галилей использовал новоизобретенный инструмент, подзорную трубу, и показал тем самым, что прикладная техника может послужить на пользу науке, а наука в свою очередь оказывается полезной тем, что ведет к изобретению новых практических орудий. Галилей и его последователи проявляли острый интерес к практической стороне науки. Они разрабатывали механические приспособления, как, например, механические часы; они изобретали оптические инструменты; Ньютон сконструировал мост, пересекающий в Кембридже реку Кем, и так далее. В науке сложилась определяющая работу вот уже многих поколений традиция, требующая, чтобы научные достижения использовались в практических целях и чтобы это практическое применение служило критерием значимости получаемых результатов и оправданием усилий ученых. Атомные физики первой половины нашего столетия просто следовали этой старой традиции науки, когда искали пути практического применения атомной физики. Их, естественно, крайне огорчило, что первое ее практическое применение оказалось военным. Однако то обстоятельство, что мы теперь получили возможность в больших количествах превращать одни химические элементы в другие, по праву было воспринято как подлинный триумф нашей науки.

Эту заинтересованность в практическом применении науки часто ложно истолковывают как тривиальное желание ученого нажить достаток, заработать деньги. Бывает, разумеется, что этот тривиальный мотив играет какую-то роль, причем, естественно, дело всегда зависит от личных качеств ученого. Но не следует преувеличивать значение этого мотива. Существует другой, гораздо более сильный мотив, когда подлинного ученого практическая приложимость его находок увлекает возможностью видеть, что твоя идея «работает», возможностью убедиться, что природа понята тобою правильно. Вспоминаю об одном послевоенном разговоре с Энрико Ферми, незадолго до предстоявшего испытания первой водородной бомбы в Тихом океане. При обсуждении этого плана я дал понять, что перед лицом вероятных биологических и политических последствий от подобного испытания надлежит воздержаться. Ферми возразил: «Но ведь это такой красивый эксперимент». Вот, пожалуй, сильнейший мотив, стоящий за практическим приложением науки: ученому требуется подтверждение от беспристрастного судьи — самой природы, — что он верно понял ее структуру. И ему хотелось бы видеть плоды своих усилий в действии.

В свете названного обстоятельства нетрудно понять мотивы, определяющие направление работы отдельного ученого. Как правило, конкретное исследование опирается на те или иные теоретические идеи и гипотезы, касающиеся интерпретации установленных феноменов. Однако какую именно теорию примет ученый? История науки учит, что та или иная теория избирается обычно не за ее непротиворечивость или ясность, а потому, что ученый надеется лично принять участие в ее разработке и верификации. Желание быть активными участниками события, надежда на результативность личных усилий — вот что ведет нас в науке. Такое желание сильнее нашего рационального суждения о ценности различных теоретических идей. В начале двадцатых годов мы знали, что Бор никак не может быть полностью прав в своей теории атома. Мы догадывались, однако, что его теория указывает верное направление, и надеялись, что сумеем избежать несообразностей и заменить теорию Бора какой-то более удовлетворительной картиной.

Роль традиции в науке, однако, не ограничивается выбором проблемы, и тут я перехожу ко второй части своего доклада. С наибольшей полнотой действие традиции сказывается в более глубоких слоях научного процесса, где

ее не так-то уж легко распознать; и здесь прежде всего следует сказать о научном методе. В научной работе нашего столетия мы следуем, по существу, все тому же методу, который был открыт и разработан Коперником, Галилеем и их последователями в XVI и XVII веках. Временами этот метод истолковывают ошибочно, характеризуя его в противоположность умозрительной науке предшествовавших веков как опытную науку. В действительности Галилей отвернулся от традиционной, опиравшейся на Аристотеля науки своего времени и подхватил философские идеи Платона. Аристотелевскую дескриптивную науку он заменил платоновской структурной наукой. Выступая в защиту опыта, он имел в виду опыт, просвеченный математическими связями. Галилей, точно так же, как и Коперник, понял, что, отстраняясь от непосредственного опыта, идеализируя этот опыт, мы можем выявлять математические структуры феноменов и тем самым достигать новой простоты, обретая основу для новой ступени понимания. Аристотель в полном соответствии с непосредственными данными опыта установил, например, что легкие тела падают медленнее, чем тяжелые. Галилей заявил, что в пустом пространстве все тела падают с равной скоростью и что их падение можно описать с помощью простых математических законов. В его эпоху падение тел в безвоздушном пространстве с точностью наблюдать было нельзя; однако тезис Галилея вызвал к жизни новые эксперименты. Новый метод стремился не к описанию непосредственно наблюдаемых фактов, а скорее к проектированию экспериментов, к искусственному созданию феноменов, при обычных условиях не наблюдаемых, и к их расчету на базе математической теории.

Для нового научного метода существенны, таким образом, две характерные черты: стремление ставить каждый раз новые и очень точные эксперименты, идеализирующие, изолирующие опыт и тем самым создающие, по существу, новые феномены, и сопоставление этих феноменов с математическими структурами, принимаемыми в качестве законов природы. Прежде чем выяснять, придерживается ли того же самого метода и наша современная наука, нам следовало бы, пожалуй, вкратце выяснить вопрос, что служило Копернику, Галилею и Кеплеру опорой в их доверии к этому новому пути. Результаты исследования Вейцзеккера заставляют нас, как мне кажется, констатировать, что эта основа была прежде всего теологической[77]. Галилей говорил, что природа, вторая книга

Бога (первая — Библия), написана математическими буквами, и мы должны выучить ее алфавит, если хотим ее читать. Кеплер в своей работе о мировой гармонии еще более прямолинеен; он говорит: Бог создал мир согласно своим творящим идеям. Эти идеи суть те чистые архетипические формы, которые Платон называл идеями, и они постигаются человеком в виде математических соотношений. Человек способен понимать их потому, что он сотворен как духовное подобие божие. Физика есть отражение божественных творящих идей, и потому физика есть служение Богу.

Подобное теологическое обоснование или оправдание физики сейчас нам совершенно несвойственно; но мы попрежнему следуем все тому же методу в силу его исключительной эффективности. Секрет его успеха заключается в возможности повторения экспериментов. Все могут в конечном счете прийти к единому мнению относительно получаемых результатов, поскольку нам известно, что эксперименты, проводимые в строго одинаковых условиях, действительно ведут к одинаковым результатам. Что дело должно обстоять именно таким образом, вовсе не само собой разумеется. Для этого необходимо, чтобы все природные процессы строго подчинялись каузальной зависимости, причинно-следственному порядку. И успешное применение данного вида причинности привело к тому, что с течением времени он был принят в качестве одного из основополагающих принципов науки. Философ Кант указал, что каузальность в этом смысле есть не эмпирический закон, а принадлежность нашего научного метода; она — предпосылка того рода науки, который возник в XVI веке и с тех пор непрерывно развивался.

Из этой господствующей в науке установки вытекает тот постулат, что мы исследуем природу такой, какова она «действительно есть». Мы начинаем с того, что вырабатываем представление о мире, существующем в пространстве и времени и подчиняющемся своим природным законам независимо от наблюдающего субъекта. Поэтому при наблюдении феноменов мы тщательно добиваемся исключения какого бы то ни было влияния со стороны наблюдателя. Ведь когда мы конструируем эксперимент и вызываем к жизни новые феномены, мы уверены, что эти новые феномены на самом деле не нами созданы, что они реально имеют место в природе без нашего вмешательства, а в созданных нами экспериментальных условиях мы лишь изолировали их в целях исследования. Во

всех этих отношениях мы пока еще доверчиво следуем традиции, восходящей ко временам Коперника и Галилея.

Но имеем ли мы, собственно, право ей следовать — перед лицом хорошо известных гносеологических проблем квантовой теории? На больших ускорителях мы исследуем, к примеру, столкновение между элементарными частицами и верим, что даже если бы мы не построили эти ускорители, подобные явления все равно происходили бы в земной атмосфере под воздействием космического излучения. Однако что приходит из мирового пространства — волны или частицы — и что́ они вызовут, интерференционную картину или след? Что в действительности происходит, когда нет наблюдателя, и знаем ли мы, что́ в данной связи означает слово «действительно»? Это трудные вопросы, и мы видим, что традиция может завести нас в тупик.

Обычно считается, что наша наука эмпирическая и что мы вывели свои понятия и свои математические формулы из опытных данных. Если бы это была безоговорочная истина, мы могли бы, вступая в неисследованную область, вводить только величины, допускающие прямое наблюдение, и устанавливать законы природы с помощью одних лишь таких величин. В молодости я думал, что Эйнштейн в своей теории относительно строго следовал такой философии. Я попробовал соответственно сделать нечто аналогичное в квантовой теории, введя матричное исчисление. Но когда позднее я обсуждал свои проблемы с Эйнштейном, он возразил мне: «Моя философия, возможно, когда-то и была такой, но все равно это чушь. Никогда не удастся построить ни одну теорию на одних только наблюдаемых величинах. От теории зависит, что́ поддается наблюдению»[78]. Этим он хотел подчеркнуть, что от непосредственного наблюдения — будь то черной линии на фотографической пластинке, будь то разряда в счетчике Гейгера или подобных вещей — мы можем перейти к интересующим нас явлениям только в опоре на теорию и теоретические понятия. Невозможно отделить процесс эмпирического наблюдения от математической структуры с ее величинами. Соотношения неопределенностей явились позднее очевиднейшим подтверждением тезиса Эйнштейна.

Но новая ситуация в квантовой теории не обязательно ставит традиционный метод науки под вопрос; под вопрос ставится только допущение, будто понятия и математические соотношения могут быть просто извлечены из

опыта. Мы, конечно, не можем в квантовой теории опереться на строгую каузальность. Но, многократно повторяя эксперименты, мы можем в конце концов вывести из своих наблюдений статистические закономерности, а повторяя аналогичные серии экспериментов, можем подняться и к объективным оценкам этих закономерностей. Такой метод сплошь и рядом применяется в физике элементарных частиц, и его можно считать естественным ответвлением традиционного метода.

Словом, в конечном счете складывается впечатление, что мы в своем научном методе строго следуем традиции, созданной в эпоху Галилея. Хотя с тех пор выросло много разных дисциплин — физика, химия, биология, теория атома и атомного ядра, — основополагающий метод остался прежним. Похоже, большинство ученых нашего времени считает его единственным приемлемым методом, способным привести к объективным, то есть к верным, суждениям относительно поведения природы.

Предпринималась попытка выработать совершенно иной подход к изучению природы, и мне следовало бы упомянуть о нем. Немецкий поэт Гёте попытался вернуться к дескриптивной науке — к такой науке, которую интересуют только зримые явления природы, а не эксперименты, искусственно вызывающие новые эффекты. Он был против рассечения явлений на объективную и субъективную стороны, и он боялся разрушения природы вышедшей из берегов технической наукой. Столкнувшись с загрязнением воздуха и воды, с отравлением почвы химическими удобрениями и с атомным оружием, мы понимаем сегодня опасения Гёте лучше, чем это было доступно его современникам. Однако попытка Гёте, по существу, не оказала влияния на развитие науки. Слишком уж впечатляющим был успех традиционного метода.

Помимо этой роли традиции при выборе проблем и в применении научного метода, ее влияние, пожалуй, оказывается всего сильнее в процессе образования и передачи понятий, с помощью которых мы пытаемся фиксировать феномены. История науки не ограничивается просто историей открытий и наблюдений, она включает также историю понятий, и я поэтому хотел бы в третьей части своего доклада вкратце разобрать историю понятий в эпоху, последовавшую за Коперником и Галилеем, и роль традиции в этой истории.

Новая наука начиналась с астрономии, так что положение и скорость тел оказались естественным образом

первыми понятиями для описания природных феноменов. Ньютон, использовавший в «Математических началах натуральной философии» сверх того еще и понятия массы и силы, ввел термин «количество движения», в принципе совпадающий с тем, что мы называем импульсом; а позднее понятийная база механики была дополнена такими понятиями, как кинетическая и потенциальная энергия. На них в течение более чем столетия опиралась вся точная наука, и их успех был настолько впечатляющим, что даже когда изучаемые феномены наводили на мысль о новых понятиях, ученые старались хранить верность традиции и сводить свои концепции к старым понятиям. Движение жидкостей мы представляем себе как движение бесконечно многих мельчайших частиц жидкости, динамика которых с успехом поддается описанию в терминах ньютоновских законов. Когда во второй половине XVIII века пробудился интерес к электричеству и магнетизму, ученые продолжали пользоваться в описании феноменов понятием силы, а под силой в смысле старой механики понимали непосредственное воздействие, зависящее только от положения и скорости рассматриваемых тел. Для осмысления различных состояний и химического поведения материи Гассенди снова возвратился к идее ее атомистического строения, а его преемники использовали Ньютонову механику для описания движения атомов и вытекающих отсюда свойств материи. Луч света понимали либо как малую, стремительно движущуюся частицу, либо как серию волн. Волны со своей стороны не могли двигаться иначе как в материи того или иного рода, и ученые позволяли себе надеяться, что мельчайшие частицы этой материи можно в конечном счете представлять подчиняющимися ньютоновским законам.

Как и в случае с научным методом, никто не сомневался, что подобное сведéние к механическим понятиям в конечном счете осуществимо. Но история решила иначе. В XIX веке становилось все яснее, что электромагнитные явления имеют иную природу. Фарадей ввел понятие электромагнитного поля, и после усовершенствования его теории Максвеллом это понятие приобретало еще бóльшую реальность; физики постепенно поняли, что силовое поле в пространстве и времени может быть точно такой же реальностью, как положение или скорость массы, и что нет никакого смысла считать силовое поле характеристикой некой неведомой субстанции, именуемой «эфиром». Традиция здесь скорее сбивала с толку, чем

помогала. Только после открытия относительности окончательно распрощались с идеей эфира, а тем самым и с надеждой свести электромагнетизм к механике.

Аналогичный процесс можно констатировать и в теории теплоты; правда, здесь отход от понятий механики заметен лишь в очень тонких вопросах. Вначале все казалось очень просто. Любое материальное образование состоит из множества атомов и молекул; считалось, что статистического обобщения механических движений этого множества частиц достаточно для создания полной картины поведения материи под влиянием тепла или химических изменений. Понятия температуры и энтропии представлялись в точности отвечающими задаче описания этого статистически выявляемого поведения. По-моему, Гиббс первым понял, какая пропасть в физике была открыта этими понятиями. Его идея канонического распределения показывает, что словом «температура» обозначается мера нашего знания о механическом поведении атомов, а не их объективное механическое поведение. Слово это относится к определенному роду наблюдения, потому что им заранее предполагается известный теплообмен между системой и измерительным прибором (термометром), т. е. состояние термодинамического равновесия. Поэтому, зная температуру системы, мы не можем в точности знать ее энергию, причем эта неточность зависит от числа степеней свободы системы. Естественно, традиция со всей очевидностью преграждала дорогу подобному истолкованию, и физики в своем большинстве, насколько мне известно, не принимали его вплоть до окончательного оформления квантовой теории в нашем столетии. Мне все же хотелось бы упомянуть, что Нильс Бор по моем прибытии в 1924 г. в его копенгагенский институт первым делом рекомендовал мне прочитать книгу Гиббса о термодинамике. И он добавил, что Гиббс — единственный физик, по-настоящему понявший статистическую термодинамику.

А в других областях дело выглядело еще хуже. Мы были вынуждены признать, что в теории относительности и в квантовой теории некоторые из наиболее старых традиционных понятий неудовлетворительны и подлежат замене более точными. Пространство и время не так независимы друг от друга, как казалось Ньютону, они связаны между собой преобразованием Лоренца. В квантовой механике состояние системы может быть математически охарактеризовано вектором в многомерном пространстве,

и этот вектор заключает в себе высказывания о статистическом поведении данной системы при определенных условиях наблюдения. Объективное описание системы в традиционном смысле тут невозможно. Входить в детали нет необходимости. Для физиков было трудно принять это изменение своих фундаментальных понятий.

Теперь ставим вопрос, действительно ли традиция оказалась просто помехой для всех этих нововведений, забивая головы ученых пустыми предрассудками, устранение которых принимается за важнейшую предпосылку прогресса. Трудность возникает здесь на первом же шагу вместе со словом «предрассудок». Заводя речь о наших исследованиях, о явлениях, которые мы желаем изучить, мы нуждаемся в языке, нуждаемся в словах, а слова — это языковое выражение понятий. В начале исследования невозможно избежать привязывания слов к старым понятиям, поскольку новые еще не существуют. Так называемые предрассудки суть поэтому необходимая составная часть нашего языка, и их нельзя просто отбросить. Мы усваиваем язык через традицию, традиционными понятиями сформирован наш способ размышлять о проблемах и ставить вопросы. Когда из опытов лорда Резерфорда выявилось, что атом состоит из ядра, окруженного электронами, невозможно было не спросить: где находятся или как движутся электроны в этих внешних частях атома? Каковы орбиты электронов? А при наблюдении событий на очень далеких звездах было разумным делом спросить: происходят ли два данных события одновременно или нет? Уяснение того, что подобные вопросы бессмысленны, — трудный и болезненный процесс. Простым словом «предрассудок» тут не отделаешься. Можно поэтому сказать, что при такой ситуации в науке, когда изменению подлежат основополагающие понятия, традиция оказывается вместе и предпосылкой, и помехой для прогресса. Поэтому она живет обычно до тех пор, пока новые понятия не достигнут всеобщего признания.

Позвольте мне в заключение приложить эти свои мысли к современному состоянию физики. Фундаментальная структура материи — одна из центральных проблем нашего времени, и в ней с эпохи Демокрита господствует понятие элементарных частиц. Образы, которыми мы пользуемся, вопросы, которые мы ставим, однозначно говорят об этом. Всякая масса материи состоит из молекул: молекула состоит из атомов; атом состоит из ядра и электронов; ядро состоит из протонов и нейтронов. Про-

тон — ну, вот это, пожалуй, и есть элементарная частица. Но нам хотелось бы называть ее «элементарной» только при условии, что ее нельзя в свою очередь разделить; нам хотелось бы поэтому, чтобы протон имел некоторое подобие точечной массы и такой же заряд. Однако протон имеет какую-то конечную величину и может быть разделен. От столкновения двух протонов высоких энергий может возникнуть множество частиц. Причем эти частицы не меньше протона, они — точно такие же частицы, как и протоны; это значит, что их можно назвать такими объектами в спектре элементарных частиц, заряд которых — поскольку он не равен нулю — по величине не меньше заряда протона. Так что явление, наблюдаемое нами при подобном столкновении, едва ли оправданно называть делением протонов; речь идет о создании новых частиц из кинетической энергии сталкивающихся протонов. А коль скоро протон не элементарен, из чего он состоит? Из материи; материя состоит из частиц. Выходит, протон состоит из любого числа частиц любого рода, и так далее. Как видим, нам не удается прийти к сколько-нибудь разумному ответу на вопросы, которые мы поставили и продолжаем ставить, следуя традиции, простирающейся на 2500 лет назад, вплоть до эпохи Демокрита. Но нам не остается ничего другого, как ставить эти вопросы, поскольку наш язык переплетен с нашей традицией. Мы вынуждены применять такие выражения, как «частицы», «состоит из», «число частиц», хотя наблюдения учат нас, что применимость этих выражений весьма ограниченна. И тем не менее отрешиться от традиции крайне трудно. В одной из последних статей об элементарных частицах я прочел фразу: «Полученные Бьёркеном результаты позволяют нам заключить, что по своим электрическим свойствам протон обладает зернистой структурой». Автору статьи не пришло в голову, что за «зернистой структурой» и подобными выражениями не стоит ничего другого, кроме принципа масштабной инвариантности Бьёркена, т. е. что они не содержат никакой реальной информации, выходящей за пределы этого принципа. Или другой пример: многие физики-экспериментаторы заняты сегодня поисками «кварков», частиц, заряд которых составляет $^1/_3$ или $^2/_3$ заряда протона. По моему убеждению, эти упорные поиски кварков коренятся в осознанной или бессознательной надежде открыть подлинно элементарные частицы, исходные единицы материи. Но даже если бы кварки удалось обнаружить, то, судя по

всему нам известному, они опять же будут делиться на два кварка и один антикварк и так далее, т. е. окажутся не элементарнее протона. Вы видите, как предельно трудно отрешиться от старой традиции.

Что действительно необходимо, так это смена основополагающих понятий. Нам придется отойти от философии Демокрита и от понятия исходных элементарных частиц. Взамен следовало бы принять идею фундаментальных симметрий, идущую от философии Платона. Как Коперник и Галилей в своем методе отказались от дескриптивной науки Аристотеля и обратились к структурной науке Платона, так и мы, возможно, вынуждены в наших понятиях оставить атомистический материализм Демокрита и обратиться к идеям симметрии, имеющимся в философии Платона. Тем самым мы возвратимся опять-таки к очень древней традиции. Но даже если нам удастся подобный переворот, в физике элементарных частиц останется для экспериментального и теоретического прояснения еще много сложных деталей, впрочем, я не думаю, что, помимо этой смены понятий, произойдет еще какой-либо сенсационный сдвиг.

После того как я коснулся трех важнейших аспектов роли традиции в науке — ее влияния на выбор проблем, на метод и на систему понятий, — мне следовало бы в заключение доклада сказать несколько слов о будущем развитии науки. Разумеется, я не собираюсь заниматься футурологией. И все же, поскольку нам едва ли дано работать над иными проблемами, чем те, которые предложены нам историческим процессом, разумно подумать о том, в каких областях этот процесс поставил нас перед новыми и интересными вопросами. Внутри физической науки я назвал бы астрофизику; в этой области нам бросают вызов удивительные свойства пульсаров и квазаров, а может быть, также и гравитационные волны. Затем существует новая и обширная область молекулярной биологии, где сталкиваются между собой понятия совершенно различного происхождения — физические, химические, биологические, — выдвигая множество новых интересных проблем. Наконец, с практической стороны нам предстоит разрешить жгучие проблемы, поднятые разрушением окружающей среды. Я назвал эти три вещи не ради предсказания будущего, а чтобы подчеркнуть,что у нас нет необходимости изобретать себе проблемы. Научная традиция, т. е. исторический процесс, предлагает нам поистине множество проблем и побуждает нас к новым усилиям. А это — признак очень здорового положения в науке.