

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

530

ФИЗИКА НАШИХ ДНЕЙ**СВЯЗЬ МЕЖДУ ФИЗИКОЙ И ДРУГИМИ НАУКАМИ *)***B. Weisskopf*

Дамы и господа! Наша юбилейная сессия приближается к концу. До сих пор мы обсуждали физические проблемы. Поговорим теперь о физике как науке. Это всегда связано с необходимостью оглянуться назад. Конечно, судить о физике — это не дело физика. Физика подобна музыке: я не люблю рассуждать о музыке, а предпочитаю ее слушать. В еще большей степени это относится к физике. Как гласит поговорка, вкус пудинга познается во время еды. Но Бернардини попросил меня выступить по вопросу о месте физики среди других наук, и я должен выполнить его просьбу: однако мне хотелось бы отметить, что мое выступление нельзя принимать всерьез, в отличие от других докладов, которые, несмотря на некоторую пространность, все же были серьезными. Прежде всего, само название моей речи неправильно. Я не буду говорить о месте, которое занимает физика среди других наук. Это очень трудно, хотя бы уже потому, что нелегко объяснить, что представляют собой другие науки. Мы знаем, например, что существует химия как наука; однако ученые-химики могут работать уверенно и плодотворно, только используя законы физики; или, скажем, биологи, в частности те, кого я вижу в этом зале, упорно стремятся понять биологические законы на языке физики. Это, конечно, вопрос семантики, способ выражения, но физики хорошо понимают, что этот способ выражения значит. Нам хотелось бы объяснить все известные явления единым образом, и с этой точки зрения все науки в конечном счете представляют собой разделы физики. Это, конечно, означает, что физика становится чрезвычайно обширной. Мы должны рассматривать как разделы физики химию и биологию, физику твердого тела, физику плазмы и т. д. Поэтому если бы я попытался исчерпать тему, поставленную в заглавии, то, по существу, мне пришлось бы говорить о взаимосвязи между различными областями физики. Я говорю обо всем этом, поскольку мне нужна Ваша помощь. В том невыгодном положении, которое я занимал в течение нескольких последних лет, я защищал физику высоких энергий от всех остальных физиков, и не только от них, но и от многих других людей, не причастных к науке. И именно это оказалось для меня наиболее трудным делом. В связи с этим я построю свое выступление следующим образом: я представлю в наиболее экстремальной форме те аргументы, которые высказывает большинство физиков,

*) V. F. Weisskopf, The Connection between Physics and Other Branches of Science, Suppl. al Nuovo Cimento 4, 465 (1966). Речь на юбилейной сессии, посвященной 400-летию со дня рождения Галилео Галилея (7—21 сентября 1964 г., Пиза, Италия). Перевод И. И. Ройзена.

возражающих против развития физики высоких энергий. Я преподнесу Вам то, что они преподносили мне. Вы знаете, как интересно время от времени использовать аргументы своих оппонентов.

Если проследить развитие физики со временем Галилея, то станет очевидной основная тенденция — стремление понять все, что нас окружает. Разумеется, во времена Галилея явления, которые надлежало понять, были значительно более просты и наглядны, во всяком случае для Галилея. Его интересовала гравитация, камни, падающие с Пизанской башни, он наблюдал за звездами и Юпитером. Эти явления и объекты Галилей мог наблюдать непосредственно, и, занимаясь этим, он развивал физику своего времени. Позднее на сцену выступили новые явления, которые во времена Галилея казались не имеющими прямого отношения к окружающей нас действительности, такие, например, как электричество, которое в те времена обнаруживалось сравнительно редко, только в виде молний. Теперь же оно представляет собой один из наиболее существенных атрибутов нашего окружения. В связи с этим, если мы празднуем сегодня 400-ю годовщину со дня рождения Галилея, мы должны также отпраздновать, как подсказал мне Зумино, и другую знаменательную дату — столетие максвелловской теории поля. Так или иначе, начиная с тех пор, физика стремилась все глубже и глубже проникнуть в сущность явлений, которые нас окружают. Я хочу теперь сделать одно утрированное утверждение, с тем чтобы ближе подойти к тому, что я собираюсь сказать. Мне кажется, что основная тенденция в развитии физики, начиная с 1930 г., изменилась. К этому времени мы более или менее поняли все явления, которые происходят вокруг нас, во всяком случае поняли в основном. Внутренняя структура ядер не столь существенна для мира, в котором мы живем. Действительно, ядерная физика — это уже дело рук человека: нам пришло возбудить ядра, прежде чем мы смогли изучать сопутствующие явления. В естественных земных условиях мы можем наблюдать очень мало явлений, которые непосредственно обусловлены механизмом внутриядерных процессов. К ним относится, в частности, естественная радиоактивность, но она представляет собой всего лишь горячую золу, оставшуюся от ядерного пламени, которое бушевало четыре миллиона лет назад. Таким образом, мы создали в лаборатории исключительные условия, которые на земле в естественном виде не существуют, но, как выяснилось позднее, реализуются в недрах звезд. Примерно в 1950 г. мы сделали следующий шаг: проникнув в субъядерную область и приступив к изучению структуры нуклона, мы открыли новый мир, который, по-видимому, еще более далек от тех предметов и явлений, с которыми мы имеем дело в повседневной жизни. Познание этого мира не очень существенно для понимания окружающей нас действительности. Нет необходимости знать структуру нуклона и для изучения атомных явлений, за исключением некоторых, весьма специальных и не очень существенных. Наконец, по-видимому, до известных пор, можно изучать ядерную физику, не обладая подробной информацией о А-частицах, π-мезонах и триплетах.

Однако такой подход к вопросу развития физики является до некоторой степени слишком узким: нельзя забывать, что существует не только одно направление. В связи с этим мне хотелось бы нарисовать следующую схему развития физики.

По оси y отложено то, что я назвал бы «интенсивными исследованиями»; они развивались, грубо говоря, от атома к ядру и далее к субъядерной материи, как уже отмечалось выше. То, что отложено по оси x , я назову «экстенсивными исследованиями». Я сказал бы, что в действительности наука развивается в направлении диагонали. Изучая новую

ступень в направлении y , мы в то же самое время расширяем поле деятельности в других интересующих нас областях знания. Например, атомная физика стала в настоящее время весьма обширной: она включает химию, физику твердого тела, биологию. Она охватывает внушительную часть явлений природы. Ядерная физика тоже расширяет свои границы: она включает ядерную спектроскопию, ядерную химию, астрофизику и ядерное машиностроение. Мы ожидаем также дальнейшего развития по направлению u в субъядерной области, и, кто знает, когда нам откроется следующий, «четвертый мир». Разумеется, я не знаю, сможем ли мы всегда достаточно хорошо различать эти направления. Предлагаемый подход

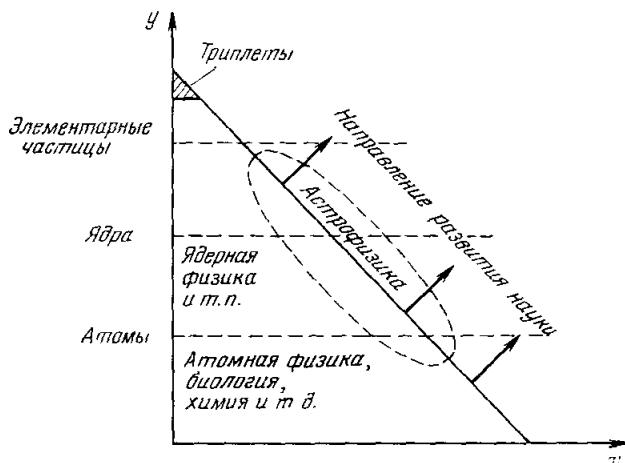


Схема развития науки.

очень схематичен. При обсуждении дальнейшего развития нужно учитывать два возможных пути. Когда мы продвигаемся в направлении u , мы идем ко все меньшим объектам и единицам. Мы говорим,— и с полным основанием,— что они являются все более фундаментальными. Это означает, что для того, чтобы знать, что представляет собой атом, я должен знать, что такое ядро, а чтобы знать, что такое ядро, мне необходимо знать, что представляют собой его части, и, если я этого не знаю, то я не могу понять то, о чём мы все говорим. Однако для этих исследований необходима все более разнообразная и дорогостоящая аппаратура, поскольку для создания условий, которые так сильно отличаются от обычных, например, условий, необходимых для исследований ядерной и особенно субъядерной материи, мы должны строить все более крупные машины и огромные лаборатории. В то же самое время происходит развитие в направлении x , и, конечно, мы испытываем определенное давление со стороны общества и научного мира в целом, настаивающих на широком использовании результатов наших исследований.

Обсуждая эти вопросы, мы всегда должны проводить различие между двумя возможными точками зрения. Людей, которые придерживаются первой из них, я назвал бы «фундаменталистами»; к ним относится большинство присутствующих в этом зале; а людей, которые отстаивают вторую точку зрения, за неимением лучшего слова,— антропоцентристами. Позвольте ради спора — мне нужны Ваши контраргументы — защитить со всем энтузиазмом, на который я способен, точку зрения антропоцентристов. Но прежде определим несколько точнее точку зрения

фундаменталистов. Они считают, что настоящий фронт науки, конечно, находится в вершине треугольника. И фронт науки действительно расположено именно там. Там мы исследуем новые вещи, новые законы, новые явления в полном смысле этого слова. Там мы обнаруживаем нечто такое, чего никто раньше не видел. Фундаменталист считает, что все оставленное — это приложения. Они могут быть очень интересными; это могут быть не технические приложения, а приложения, выясняющие смысл хорошо известных законов, например приложения к биологии, физике твердого тела и другим областям науки. Но они остаются приложениями уравнения Шредингера и квантовой теории к специфическим, часто очень загадочным условиям. Нужно только правильно и умело взглянуть на известные факты (что наши друзья, биологи, делают с большим искусством), как выясняется, что мы в состоянии их тем или иным образом понять и объяснить. Но в вершине треугольника дело обстоит иначе. Здесь мы встречаемся с совершенно новыми законами и явлениями в самом глубоком смысле этого слова. Это приводит к новым понятиям и методам мышления, подобно открытию квантовой теории в двадцатых годах этого века. Для того чтобы «навести порядок» в совершенно новой области, обычно бывает необходимо пересмотреть весь строй привычных понятий и поэтому можно ожидать появления совершенно новых идей. Кроме того, фундаменталисты любят говорить, что существует связь между интересующими их проблемами и космосом и Вселенной. Атомная и ядерная физика играют важную роль в теориях образования элементов, эволюции звезд и звездных вспышек. Субядерные явления тоже могут оказаться важными для астрофизики в связи с тем, что процессы, в которых они замешаны, могут явиться источником колоссальной энергии. Не исключено, что существует причинная связь между этими явлениями и звездными вспышками. Таким образом, фундаментальные проблемы физики оказываются связанными с космосом в целом, с проблемами Вселенной, пространства и времени. Это приводит нас к наиболее интересной особенности современной науки — к ее историческому аспекту. Во времена Галилея этот аспект не существовал вообще: природа изучалась только в том виде, какой она имела в то время. Космология поставила новый вопрос — вопрос о том, какова эволюция Вселенной и как возникло то, что мы видим сегодня. Конечно, такой же исторический аспект существует в биологии, геологии и палеонтологии. Все эти науки изучают развитие жизни или других объектов на Земле. Но в космологии исторический аспект занимает такое место, что он по праву может быть назван самостоятельным разделом физики. Это придает фундаментальным исследованиям особое значение.

Что можно сказать о позиции антропоцентристов? Они делают акцент на социальном значении исследований, на их воздействии на общество, на их полезности для общества. В этом отношении физика времен Галилея находилась в несравненно более выгодном положении, чем современная физика. Любое исследование явлений природы, которое проявляется в естественных условиях, должно иметь и всегда имело большое социальное значение. Если же посмотреть на современную науку, то можно, как это делают антропоцентристы, ввести некое новое понятие, которое я бы назвал степенью удаленности от жизни. Его очень трудно определить точно, поскольку у нас нет соответствующей меры, но, несомненно, чувствуется, что такая удаленность существует. Я повторяю сейчас соображения, принадлежащие Лео Сцилларду. Например, исследования в области физики высоких энергий и строения галактик, несомненно, очень далеки от жизни. Что касается галактик, то это совершенно ясно. Говоря о физике элементарных частиц, мы можем рассуждать следующим образом:

хотя мы все состоим из атомов и протонов и, быть может, триплетов, однако специфические явления, происходящие в субъядерном мире, не имеют к нам прямого отношения в том смысле, что они никогда не играют какой-либо роли в обычных условиях, даже если понимать эти условия в самом широком и общем плане. Антропоцентрист всегда подчеркивает практические приложения научных исследований. Хотя приложения и не представляют собой особенного научного интереса, они тем не менее имеют отношение к делу, так как показывают, что исследования в соответствующих областях физики могут быть использованы на пользу или во вред человечеству, поскольку их результаты отражаются на нашей жизни.

Я обрисовал, по крайней мере в общих чертах, две точки зрения, так что вы теперь знаете, о чем я говорю. Я хотел бы сделать еще несколько замечаний. Начну с аргумента в поддержку фундаменталистов; я называл бы его псевдофундаменталистским аргументом, так как он является довольно рискованным. Он общеизвестен и состоит в том, что исследования в любой из областей науки всегда найдут практическое применение. Это можно подтвердить огромным числом хороших примеров. Я напомню Вам историю, которая произошла с Фарадеем в 1800 г., когда он проводил эксперименты с электрическими токами и магнитными полями и какой-то министр, посетив его, спросил: «Какая от всего этого польза?» Фарадей ответил: «Я не знаю, но уверен, что когда-нибудь правительство установит плату за это». Мы знаем, что он оказался прав, и я думаю, что он имел все основания быть правым. Электричество является теперь неотъемлемой частью нашего быта, и сфера его практических применений становится поистине необъятной. Другой пример, который обычно приводят, связан с ядерной физикой, которую в тридцатые годы считали таинственной наукой все, кроме Лео Сцилларда: он уже тогда взял патент на цепные ядерные реакции. Но для всех остальных людей она оставалась загадочной наукой, а теперь, спустя тридцать лет, существует ядерная индустрия. Убедителен ли этот аргумент? Он не очень хорош, поскольку практическое применение нашло деление ядер — процесс, который с научной точки зрения не является очень существенным и характерным для ядерной физики. Представим себе, что при делении ядер излучалось бы менее двух нейтронов; тогда этот процесс нельзя было бы использовать для получения энергии. Таким образом, в данном случае было найдено практическое применение явления, которое занимает место на окраине ядерной физики, и мы пока прекрасно обходимся без значительных успехов в освоении настоящего ядерного процесса — термоядерного синтеза, который имеет фундаментальное значение для ядерной химии и ядерных двигателей. Но даже если мы достигнем успеха в этом деле, то и тогда ядерная физика не станет неотъемлемой частью нашего быта. Следовательно, было неправильно использовать псевдофундаменталистский аргумент и говорить: пусть пройдет достаточное время, и результаты исследований субъядерной материи и т. д. найдут практическое применение. Это звучит не совсем честно, поскольку мы удаляемся, и удаляемся намеренно от привычной действительности. Тем не менее я не уверен, что этот аргумент действительно является несостоятельным, так как существует более глубокий смысл в том, что произошло как в результате открытий Фарадея, так и вследствие открытий ядерной физики. В связи с этим я хотел бы спросить: разве понятие «условия жизни» является так уж хорошо определенным? Разве то, что мы создаем, не приводит к расширению этого понятия? Когда мы пытаемся овладеть управляемым термоядерным синтезом или когда мы уже теперь пользуемся неуправляемым синтезом в неблаговидных целях, мы создаем космические звездные

условия здесь, на Земле, а значит, мы изменяем условия нашей жизни. Действительно, пример электричества (и ему подобные) убеждает нас в том, что роль электричества в мире, в котором мы живем, существенно изменилась, просто из-за того, что теперь всегда рядом с нами есть напряжение 120 в. Наконец, три тысячи лет назад условия жизни людей преобразились благодаря тому, что были получены чистые металлы, которые тоже нельзя найти в естественных условиях. Как же определить, что такое условия жизни, если на деле мы их сами непрерывно изменяем? Это выражается не в том, что мы создаем космические ракеты и т. п., это имеет куда более глубокий смысл. Поэтому я не уверен, что этот аргумент так уж ложен.

Теперь я перейду к псевдоантифундаменталистскому аргументу. Его суть состоит в следующем. Представители антропоцентристской точки зрения, которую, несомненно, разделяют некоторые из присутствующих здесь, скажут: «Вы, фундаменталисты, действительно, слишком заносчивы, раз вы считаете, что только вы открываете новые законы и принципы мышления. Это не верно. Новые законы, новые идеи и принципы мышления возникают всюду на всеобъемлющем фронте развития науки. Правда, по-вашему, достаточно сказать, что все наши результаты в конечном счете основаны на уравнении Дирака. Быть может, это и правда, но мало о чем говорит. Мы вырабатываем новые концепции и принципы мышления, чтобы управлять интересующими нас процессами, несмотря на то, что (мы тоже верим в это) они подчиняются уравнению Дирака. Мы должны выработать новые концепции для того, чтобы овладеть этими процессами. Все мы уверены, что термодинамика основана на обычной механике, применяемой к системе молекул, но мы до сих пор используем термодинамические формулировки, идеи и концепции, которые совершенно независимы от механических, хотя мы хорошо знаем, как они взаимосвязаны. Биология является собой другой пример, имеющий лишь косвенное отношение к физике, когда мы до сих пор оперируем другими понятиями, хотя и уверены, по крайней мере большинство из нас, что все биологические процессы можно описать с помощью уравнения Дирака. Подобные понятия существуют во всех областях науки. Есть ли большая разница между возникновением этих понятий и рождением фундаментальных понятий в вершине Вашего треугольника?» Я назвал эти аргументы псевдоантифундаменталистскими, так как думаю, что по существу они не являются правильными. Утверждение, что все может быть понято на основе уравнения Дирака, является очень важным. Оно представляет собой огромное завоевание науки, опираясь на которое она живет и развивается. Несомненно, существуют очень интересные направления во всех науках, но они всегда покоятся на фундаменте, который заложен фундаменталистами.

Но даже этим аргументам может быть придан более глубокий смысл. Так ли уж мы уверены в уравнении Дирака? На самом ли деле в биологии нет ничего, кроме квантовой физики? Конечно, я не имею в виду теории виталистов. В качестве примера я напомню об идеях, которые в двадцатых годах высказывал Нильс Бор и суть которых состоит в том, что, быть может, в биологических явлениях скрыты какие-то новые фундаментальные законы. Сегодня в это не верят. Но можем ли мы быть совершенно уверены, что в основе жизни не лежит нечто фундаментальное, не объясненное до сих пор? Это представляет собой проблему эволюции, которая полностью не решена. Я еще раз подчеркиваю, что то, о чем я говорю, не является метафизикой. Это могло бы стать новой физикой, ибо в том и состоит вопрос, можно ли действительно свести биологию к старой физике. Здесь я снова прихожу к своему определению,

что все науки — это физика. Но среди них может оказаться совсем новая физика. Если это так или если только допустить такую возможность, то биологию следует отнести к фундаментальным наукам.

Я перехожу теперь к другим аргументам антифундаменталистов. Я говорю об антифундаменталистской точке зрения, хотя, уверяю Вас, я — фундаменталист и заплатил сполна за право быть им. Существует еще один аспект обсуждаемой нами проблемы. Рисуя треугольник, я определил, что следует понимать под продвижением вдоль оси y . Вслед за атомной физикой следует ядерная, за ней — физика элементарных частиц и т. д. Сразу же возникает вопрос: существует на этом пути какой-то определенный предел или же можно двигаться вдоль оси y без конца, открывая все новые и новые структуры? Вслед за открытием триплетов, мы можем обнаружить их структуру и т. д. Кроме того, до сих пор мы еще не касались лептонов. Существование μ -мезона и двух нейтрино, несомненно, указывает на то, что и здесь скрыт какой-то неведомый нам новый мир. Что можно сказать о нем? Исчерпывается ли он конечным числом структур? Сколько их вообще существует? На все эти вопросы можно ответить просто: об этом ничего не известно, ответ должно дать дальнейшее развитие науки; будущее покажет.

Однако Вы знаете, что есть ученые, среди которых наиболее выдающиеся являются Гейзенберг, отвечающие на этот вопрос вполне определенно. Гейзенберг считает, что в природе существует только конечное число структур, и мы находимся на пути создания математического аппарата и физической теории, которые описывают все явления и процессы. Я не знаю, но думаю, что Эйнштейн придерживался такой же точки зрения. Другими словами, эти ученые считают, что последовательность квантовых объектов ограничена, и что в ее конце расположены основные из них, которые объясняют весь мир элементарных частиц. Если Гейзенберг прав, то мы получаем мощный аргумент в поддержку точки зрения фундаменталистов и должны сделать все, что в наших силах, чтобы отыскать соответствующее фундаментальное уравнение или выяснить, существует ли оно. Если точка зрения Гейзенберга ошибочна, то возникает странная ситуация, в которой нужно было бы спросить себя: как далеко ты хочешь дойти? Если на пути исследований, по мере того как мы все больше удаляемся от естественных условий, возникают все новые и новые структуры, то на какой стадии эти исследования перестанут представлять интерес? И случится ли это когда-нибудь? В действительности, я уверен, что по мнению многих людей эта стадия в настоящее время уже достигнута. Их точка зрения основана на убеждении, что все эти пионы, гипероны и каоны не имеют ничего общего с теми проблемами, которые стоят перед человечеством.

Аргумент антифундаменталистов, который я хотел привести, имеет смысл только в том случае, если Гейзенберг не прав, т. е. если в действительности существует бесконечная последовательность новых явлений и процессов, которые будут проявляться по мере увеличения энергии и расширения обозримой области Вселенной. Он основан на предположении, что ценность открытых уменьшается по мере того, как они требуют реализации все более искусственных условий и потому становятся все более труднодоступны. Может случиться даже так, что, строя все более мощные ускорители, мы столкнемся с явлениями, которые вообще не происходят в естественных условиях на данной стадии развития Вселенной. Может быть, они имели место только до начала взрывного расширения Вселенной, если они вообще когда-либо происходили в природе. Представляет ли в таком случае их изучение вообще какую-то ценность? Физика вырождается при этом в такую область чистой математики,

которая черпает свои проблемы не из окружающей природы, а порождает их сама.

Лично я полагаю, что современной физике элементарных частиц такая опасность пока не угрожает. Думается, что она имеет самое непосредственное отношение к основным вопросам строения Вселенной и природы фундаментальных сил. До тех пор, пока мы не знаем, почему элементарный электрический заряд одинаков во всех процессах, интерес к фундаментальным вопросам физики ослабеть не может.

Однако убедить в важности фундаментальных исследований эту аудиторию куда проще, чем широкую общественность. Я прошу Вас помочь мне отыскать простые и непосредственные аргументы. Нет особенной пользы от уверений, что наука хороша сама по себе, и что она находится на переднем фронте нашей интеллектуальной культуры. Нужно быть более конкретным. Быть конкретным значительно легче, когда речь идет о биологии. Здесь необходимость дальнейших исследований очевидна как для антропоцентристов, так и для фундаменталистов. Нет никаких сомнений в том, что будущее развитие биологии окажет огромное влияние на общество, такое же или даже еще большее, чем квантовая механика. Куда труднее доказать, что физике элементарных частиц принадлежит такая же роль. Сейчас в поисках соответствующих аргументов я использовал точку зрения антропоцентристов, поскольку я убедился в том, что она оказывает сильное влияние на общество. Быть может, этого не следовало делать. Но в то же время тот, кто в действительности является настоящим фундаменталистом, должен выдвинуть свои аргументы, столь же ясные и понятные, как и аргументы антропоцентриста, ибо фундаменталисты — это тоже люди.

Позвольте мне в заключение кое-что вам процитировать. Теперь я полностью покидаю сферу естественных наук и обращаюсь к основному принципу культуры — гуманизму. Я хотел бы зачитать две цитаты. Первая взята из пьесы Поля Клоделя «Le souliers de satin» («Атласные башмачки»). Во время беседы с молодым священником старый аббат спрашивает: «Скажи мне, сын мой, кто сделал больше для бедных душ, страдающих от малярии: ученый доктор, который день и ночь стоял возле их постелей, пытаясь помочь им всеми средствами, даже рискуя своей и их жизнями, или же любознательный бездельник, которому в один прекрасный день взбрело в голову отправиться на край света и узнать про хинин». Ответ: «Увы! Тот, кто узнал про хинин». Разумеется, это псевдофундаменталистский аргумент. Теперь я процитирую «Потерянный рай» Джона Мильтона, где можно обнаружить антропоцентристскую идею: «Но ум или воображение, не зная пределов, блуждают в бесконечном лабиринте, пока предостережение или опыт не научат нас, что высшая мудрость состоит не в глубоком познании далеких от нас вещей, отвлеченных, темных, но в уразумении того, что видим мы перед собою в повседневной жизни. Все остальное — дым, суeta, безумие, могущее сделать нас еще более неопытными и наивными в суждении о наиболее близких нам вещах, вечно недовольными».

ЦЕРН, Женева

ДИСКУССИЯ

X. Казимир:

Как один из тех, кто заплатил за право называть себя антропоцентристом, я хотел бы сделать несколько замечаний. Я начну с того, что добавлю к нижней части картины, нарисованной Вайскопфом, еще одну деталь, которая представляет собой все то, что обычно называют макроскопической физикой, включая такие разделы, как макроскопическая электродинамика, гидродинамика, магнитная гидродинамика

и т. п. Прежде всего я должен подчеркнуть, что согласно аргументу, который Вы назвали, кажется, псевдофундаменталистским или, быть может, антропоцентристским, все они являются прикладными. Но если обратиться к истории, я полагаю, что суть исторических примеров состоит в конечном счете не только в иллюстрации соответствующих приложений, но также и в том, что они подчас оказывались более неожиданными, чем мы обычно думаем. В частности, я думаю, что инженеры-электрики конца прошлого и начала этого века, которые, с одной стороны, использовали классическую термодинамику для разработки паровых двигателей, а с другой,— тогда еще новую макроскопическую электродинамику, считали, что электроны сами по себе находятся далеко за пределами сферы практической деятельности человека. Теперь мы знаем, что это было наивно, но людям, которые шли на ощупь, работа в этом направлении представлялась смехотворной. Я полагаю, что даже многие технологические институты сочли бы оскорбительным включение подобных проблем в программу своих исследований. Сегодня же мы имеем целые отрасли индустрии, работа которых связана самым тесным образом непосредственно с электронами. Далее, говоря о ядерной физике, Вы подчеркнули, что деление ядер стало использоваться в технике уже в настоящее время по случайным причинам и т. п. Это, быть может, и верно, однако, даже если бы не существовало ни деления, ни синтеза, все равно осталась бы не очень значительная, но все же заметная индустрия, связанная с радиоактивными изотопами, которые используются для изучения самых различных процессов и явлений во всех областях науки и техники. Следовательно, даже в этом случае мы имели бы достаточно хорошие аргументы, оправдывающие полезность изучения ядерной физики без привлечения рассуждений о раскрытии мировых законов и глубочайших тайн природы. Пожалуй, в известном смысле, этот аргумент в пользу ядерной физики был бы с социальной точки зрения даже лучше, чем тот, который существует сегодня, поскольку он не связан с такими зловещими приложениями. В связи с этим, по-моему, необходимо констатировать тот факт, что условия жизни людей эволюционировали неестественным образом. Если взять, скажем, химию, то мы знаем, что существуют целые классы соединений, которые считались совершенно бесполезными для практических нужд человечества, а теперь нашли бесчисленные применения в быту и т. п. Поэтому довод, что практические приложения найдутся всегда, лично мне кажется достаточно сильным. Другой вопрос, насколько значительными кажутся Вам эти приложения. Он касается общекультурных проблем и связан со взглядом на путь развития цивилизации. Но я думаю, что сам по себе этот довод является весьма убедительным. Следующее замечание, которое я хотел бы сделать, имеет несколько более отвлечененный характер. Мне кажется, что нужно обратить внимание на наклонную линию в рисунке Вайскопфа. Существует нечто вроде оптимального наклона, который мы не можем игнорировать, поскольку существует определенная логика в развитии науки в целом. То, что я говорю, звучит немного абстрактно, но с одной стороны, если эта линия идет слишком круто, появляется опасность возникновения, если так можно выразиться, гидроцефалии (водянища мозга). Такая опасность,— ее можно сравнить с картиной недовспаханного поля,— конечно, всегда приходит в голову, когда размышляешь о науке. Это соответствует наклону, который близок к вертикальному. Тогда треугольник выглядит как наклонная башня с уклоном назад. С другой стороны, если направить линию слишком горизонтально, становится очевидна опасность, что поля высохнут, т. е. что наука будет страдать от умственного и технического вырождения. Это проявляется, скажем, в макроскопической физике, и Вы сами можете привести много очень печальных примеров. Вик подчеркивал, в частности, огромную роль, которую сыграли схемы совпадений, впервые примененные Росси в связи с работами по ядерной физике. По-моему, можно сказать, что не только схемы совпадений, но также и схемы антисовпадений и другие схемы, которые теперь положены в основу устройства больших вычислительных машин и были впервые разработаны в связи с измерительными приборами для ядерных исследований, по крайней мере с ядерной электроникой, дали совершенно новый толчок тем направлениям, которые относились к почти макроскопической физике. Сегодня мы видим опять аналогичную картину. На сей раз объектом приложений оказалась физика плазмы, которая представляет собой нечто пограничное между атомной и макроскопической физикой и которая считалась довольно скучной наукой, исчерпавшей свои возможности до того, пока идея о возможности осуществления контролируемого термоядерного синтеза не возродила ее заново. Эта идея снова сделала ее вполне жизнеспособной. Она обогатит это направление всевозможными приложениями, которые вполне удовлетворят даже наиболее ярых антропоцентристов. Я думаю, что с подобной ситуацией мы сталкиваемся повсюду, и мой аргумент состоит в том, что создавая очень сложные с технической точки зрения машины и ускорители, развивая электронику, вакуумную технику и все остальное до максимальных пределов, разрабатывая новые методы измерений и контроля, строя огромные пузырьковые камеры и овладевая техникой обращения с очень большими количествами жидких газов и т. п.,— я думаю, что делая все это, мы будем максимально

содействовать поддержанию жизнеспособности этих отраслей науки и техники. Я уверен, что для обеспечения всестороннего прогресса необходим вполне определенный наклон линии на рисунке. Он не должен быть ни слишком крутым, ни слишком пологим. Он должен быть правильным. Конечно, всегда существуют вопросы, связанные с ограниченностью людских ресурсов и денег и, конечно, всегда есть аргументы в пользу того, что эта линия идет немного круче или, наоборот, немногого более полого, чем нужно, но все эти вопросы имеют второстепенное значение. Я очень хорошо чувствую, что существует определенный оптимальный наклон, и изменяя его в любую сторону, Вы подвергаете себя серьезной опасности и неприятностям. Не знаю, может ли то, что я сказал, дополнить в какой-то степени Вашу аргументацию, но пока это все, что я могу добавить.

B. Вайскопф:

Вы сказали, в частности, что те аргументы, которые я в своем выступлении назвал косвенными, являются, по Вашему мнению, весьма прямыми.

X. Казимир:

Да, они являются весьма непосредственными. Это — не просто термины, используемые образованными людьми; они являются самыми прямыми аргументами на языке твердо установленных фактов.

B. Вайскопф:

Большое спасибо. Выступления Раби и вслед за ним трех биологов должны быть очень интересными.

И. Раби:

Прежде всего, я не совсем согласен с делением ученых на фундаменталистов и антропоцентристов. Все всякого сомнения, все мы являемся антропоцентристами, в то же время мы все фундаменталисты. Противопоставление этих двух точек зрения было здесь представлено в такой экстремальной форме, как если бы мы спорили перед комиссией по финансовым ассигнованиям. Между тем, мы собрались здесь не в качестве членов упомянутой комиссии, а как ученые и потому, мне кажется, должны обсуждать эту проблему в более широком плане. Я не могу принять безоговорочно точку зрения Вики *) на преимущества положения, в котором находился Галилей. В самом деле, Галилею принадлежат два важнейших открытия. Первое состоит в разъяснении возможностей механики — он изобрел ряд приборов для своих наблюдений, второе, — оно было для своего времени, пожалуй, даже более значительным, — в том, что используя эти приборы, он разглядел объекты, расположенные на огромном расстоянии: он обнаружил спутники Юпитера и фазы Венеры. Практическая ценность этих открытий с точки зрения антропоцентристов, согласно Вайскопфу, равна нулю. В то же время их интеллектуальная ценность была огромна. Все бесконечные преследования, которым подвергался Галилей, и общественный резонанс, который возбудили его открытия, связаны именно с их фундаменталистским аспектом — философским значением вытекавших из них совершенно новых представлений о месте человека во Вселенной. И, конечно, наши исследования тоже направлены в первую очередь на то, чтобы найти свое место во Вселенной, помимо их практических приложений, которые автоматически возникают в той или иной области. Если кому-либо известен более высокий идеал, то я хочу, чтобы он научил меня, потому что, если мы считаем себя учеными, это является нашей обязанностью, а также еще и потому, что подобные споры, — не только как фарс перед комиссией по финансовым ассигнованиям, — быть может, существуют между представителями различных дисциплин. И я очень сожалею, что еще встречаются ученые, которые ничего не смыслят в иерархии различных дисциплин, т. е. не могут расклассифицировать разные отрасли знания по их ценности и важности. А поскольку деньги на научные исследования распределяются между многими отраслями науки, эти люди часто становятся в оппозицию по отношению к некоторым направлениям, подобным физике высоких энергий, требующим много денег, и тем самым расстраивают единый фронт ученых перед лицом остальной части общества, которая не слишком хорошо разбирается в научных спорах и осуждает исследования по физике высоких энергий как совершенно бесполезные для практических нужд человечества. Одним из них является Вайнберг, но он никогда не понимал основной цели науки, кото-

*) Так обычно называют профессора Вайскопфа физики, да и не только они.

рая состоит в том, чтобы определить место человека во Вселенной, чтобы мы чувствовали себя в ней, по возможности, как дома. Все подобные споры зарождаются обычно на антиинтеллектуальной почве. Теперь все мы хорошо знаем, что по крайней мере в Европе и Америке имеется достаточно денег для обеспечения развития всех существующих в настоящее время направлений науки; что, в целом, наука всегда была выгодным объектом для капиталовложений, но,— и это совсем другое дело,— что современное общество, включая как некоторых ученых, так и людей, не занимающихся непосредственно наукой, оказалось не в состоянии понять это. На протяжении известного времени широкая общественность доверяла ученым, поддерживала их, не имея достаточного понятия о том, что они делали, а основываясь только на впечатляющих результатах. Во времена Галилея дело обстояло совсем иначе — практического применения его открытия не получили, они затронули сферу интеллектуальной жизни. Однако мы как ученые не справились со своей обязанностью помочь нашей интеллигенции, запятой в других сферах духовной жизни, и всем людям, которые согласны с нами, понять то, что мы делаем, какова природа вещей, какие горизонты мы открываем. Это понимание, даже в той степени, в какой оно для них доступно, доставило бы им не только удовольствие, но и привело бы к значительному расширению их представлений о могуществе человеческого духа, о необычайно удивительной и в высшей степени интересной истории развития Вселенной, о тех новых возможностях, которые могут иметь огромное социальное значение, подобное тому, какое имели для своего времени открытия Галилея. Никто не может сказать, что квантовая механика не имела в конечном счете глубочайшего социально-философского смысла, и никто не может сказать также ничего подобного о теории относительности. В связи с этим я думаю, что мы как ученые не сумели сделать наши идеи и нашу деятельность понятными для непосвященных людей. И в заключение еще одно замечание. Мне кажется, что мы склонны относиться к науке так, как если бы ее сущность не изменилась по сравнению с предшествующими столетиями. В действительности это не так. Для людей XX века наука в ее интеллектуальном аспекте, ее целях и смысле представляет собой нечто очень сильно отличающееся от того, чем была наука во времена Галилея. Она расширилась и углубилась, она существеннейшим образом повлияла на философию, получила множество разветвлений, создала свою собственную критику, сформулировала свои собственные цели и тем самым обогатила стремления человечества, хотя мы сами подчас этого не ощущаем. Но все вы, читая что-либо написанное в XX веке, замечаете, как оно поразительно отличается от того, что было написано в XIX веке. Чтобы понять это, мне думается, необходимо подчеркнуть основной, интеллектуальный аспект науки, который объясняет человеку, для чего он живет, и открывает перед ним новые ценности или проливает новый свет на те сокровища, которые дарит ему современная наука.

B. Вайсконф:

Благодарю Вас, Раби. Это именно то, что мне хотелось бы услышать.

Ж. Моно:

Мне хотелось бы отметить два обстоятельства, одно из которых тесно связано с теми идеями, которые были высказаны профессором Раби. Мне кажется, что в том превосходном и ясном описании, классификации и определении, которые Вы дали фундаменталистам и антропоцентристам, по всей вероятности, недостаточно подчеркнуто огромное значение чисто интеллектуального воздействия результатов фундаментальных исследований. Чтобы пояснить, что я имею в виду, я напомню, что с этой точки зрения из всех открытий, которые когда-либо были сделаны, наиболее важными являются два: первое — что Земля не является центром Вселенной, и второе — что человек является потомком или двоюродным братом обезьяны, другими словами, те открытия, которые поставили людей перед фактом, заставили понять и принять идею, что Вселенная не вращается вокруг них и не создана специально для них, а что в действительности они сами являются ее частью, быть может, даже довольно чужеродной, во что мы начинаем верить, смотря или слушая работы, подобные тем, которые были доложены сегодня утром. По крайней мере, таково впечатление биологов. Я думаю, что нет беды, если кто-нибудь не согласен с этим. Я хотел бы только знать, почему? Я чувствую, что эти два открытия (конечно, наряду со многими другими я выбрал именно их, как наиболее значительные примеры) должны были оказать наиболее непосредственное и глубокое воздействие на все развитие общества, и в связи с этим я подхожу теперь к другому поставленному Вами вопросу: как далеко мы должны идти в своих исследованиях? Например, даже если бы действительно оказалось, что физика высоких энергий не имеет никакого отношения к тому материальному миру, в котором мы живем, даже тогда осталось бы вне

всяких сомнений ее огромное влияние на наш духовный мир, и, хотя до известной поры ее открытия остаются привилегией весьма ограниченного круга наиболее интеллектуально развитых людей, самые значительные из них, несомненно, станут достоянием всего человечества. Это видно хотя бы на примере выдающихся открытий прошлого, которые теперь известны даже в слаборазвитых странах. Я не сомневаюсь в том, что даже те племена, которые находятся сегодня на самой примитивной ступени развития и не имеют понятия о том, что человек является двогородным братом обезьяны и что Земля не представляет собой центра Вселенной, — даже они ощущают на себе известное влияние этих фактов. В связи с этим я думаю, что открытие предельно фундаментальных частиц и законов, подобных тем, о которых Вы упоминали, говоря о точке зрения Гейзенберга, именно, о возможности того, что в один прекрасный день физика придет к своему логическому завершению, найдя универсальный метод описания материи, так что с помощью этого можно будет изучать свойства любого из явлений природы, — мне кажется, что такое открытие, если оно когда-нибудь будет сделано, окажет громадное воздействие на эволюцию человеческого общества и на развитие мировоззрения людей. Наука ответственна за общепризнанный теперь закон непрерывного изменения и прогресса. Быть может, ученые XIX века пережили даже большую последовательность революционных

изменений в сознании людей, чем ученые XX века. Я думаю, что многие из них считали эту последовательность бесконечной. Предполагалось, что любое новое открытие, каждая новая концепция порождает новые проблемы, которые сами по себе могут привести к возникновению новых наук, которые в свою очередь могут поставить новые проблемы и т. д. Теперь мне кажется, что я вижу даже не две, а целые три возможности для того, чтобы эта последовательность могла оказаться ограниченной. Может быть, это представляется собой в основном



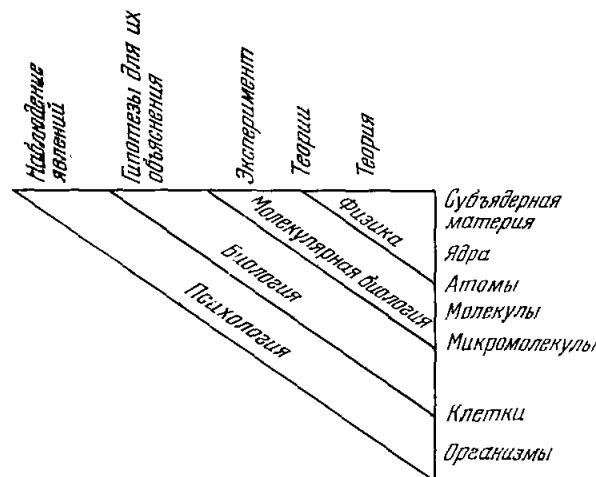
интуитивное ощущение, но оно происходит из того, что почти вся моя научная деятельность неразрывно связана с изучением одной проблемы — каким образом происходит рост живых клеток. Он происходит следующим образом. Я хочу сказать, что популяция клеток растет по следующему закону: сначала экспоненциально, затем каким-то образом замедляется и далее обязательно приближается к некоторому асимптотическому значению. Легко видеть, что при любых условиях предел роста всегда существует. Вы упомянули две возможные причины, которые могут привести к прекращению дальнейших фундаментальных исследований по физике. Одна из них состоит в том, что будет найден универсальный метод описания всех явлений природы, после чего фундаментальных проблем не останется, другая — в том, что физики столкнутся с проблемами, которые уже не будут представлять интереса из-за того, что их решение никак не может затронуть интересы общества. Мне кажется, я не понял, что это значит. Третья причина — и я хотел бы спросить присутствующих здесь физиков, не является ли это ужасной ересью, — мне как биологу представляется в том, что должен существовать определенный предел наших интеллектуальных возможностей изыскивать новые методы описания мира. Наступит время, когда мы окажемся больше не в состоянии изобретать действительно новые концепции. Конечно, мы могли бы в течение долгого времени продвигаться вперед, опираясь на известные факты. Однако такое продвижение, если при изучении этих фактов мы будем основываться на неизменном логическом базисе, не представляет, по существу, экстраординарного интереса, — быть может, именно это Вы имели в виду, когда говорили о проблемах, не представляющих интереса. В таком случае Вы должны были бы со мной согласиться. Повторяю, мне кажется, что такой предел интеллектуальных возможностей человека существует. Последнее, что я хотел бы заметить, мне кажется, не может вызвать возражения ни у одного из биологов, ни у одного из тех, кого я согласился бы причислить к биологам. Никто из нас не может не согласиться с профессором Вайскопфом в том, что биология, конечно, не представляет собой ничего большего, чем науку, которая может, должна и будет в конечном счете сформулирована на языке известных законов физики. В действительности именно это и пытаются сейчас сделать с максимально возможной точностью те, кто занимается молекулярной биологией. И чем более фундаментальные, молекулоподобные, чем более элементарные биологические объекты они изучают, тем больших успехов на этом пути они добиваются. Я имею в виду генетические, наследственные системы. Что же касается описания или объяснения работы наиболее интересных систем, которые подобно центральной нервной системе являются несравненно более сложными, то здесь мы, конечно, находимся чрезвычайно далеко от какой-либо настоящей физической интерпретации, невзирая на то, что для измерений используется самая сложнейшая электронная аппаратура. Ничего не поделаешь с тем фактом, что нет даже никаких намеков на осмысливание на молекулярном уровне работы центральной нервной системы и в особенностях процессов запоминания, логического мышления и т. п. Мне кажется, что, возможно, современная тенденция в биологии, кото-

рал состоит в попытках сведения биологических систем к доступным пониманию на языке современной физики физическим объектам, в данном случае не может привести успех. Эта мысль не нова, она уже высказывалась неоднократно. Возможно, что описывать и предсказывать поведение объектов, подобных, например, центральной нервной системе человека, пытаясь свести работу их к последовательности элементарных взаимодействий, подобных тем, которые изучают физики, неэффективно. Быть может, для этого значительно лучше попытаться применить совершенно иной подход, который представлял бы собой своего рода синтез, позволяющий разработать новые абстрактные методы описания этих систем с их внутренней логикой и т. п. Я думаю, что в этом пункте физики-теоретики в настоящее время, возможно, не правы. Однако в дальнейшем науки о человеке могут открыть перед ними необычайные возможности для развития их идей и методов.

Э. Келленбергер:

Я опасаюсь, что многое из того, что я собирался добавить к нашей дискуссии, уже высказал мой коллега Моно. Я попробую сформулировать это несколько иначе. Вы поставили и обсудили два принципиальных вопроса. Прежде всего, я хотел бы остановиться на той разнице во взглядах, которая делит людей на две части — их точки зрения действительно очень и очень различны. Будучи биологом, я начинал как физик и пришел в биологию по призванию. Если взглянуть на поставленную Вами проблему с точки зрения психологии, то естественно задуматься над тем, каковы те движущие силы, которые делают человека фундаменталистом или антропоцентристом. Я думаю, что в первом случае мы имеем дело с людьми высокого интеллекта, движимыми любопытством и стремлением все узнать. Это стремление как-то возникает в них и не зависит от их воли, в то время как антропоцентристы сознательно исходят из того, в чем нуждается общество и что необходимо сделать в интересах человечества. Понять их позицию очень легко, и я, пожалуй, не буду вдаваться в ее объяснение. Однако я хочу сказать, что те и другие являются людьми и что обе точки зрения отражают различные свойства человеческой психики. Таким образом, фактически получается замкнутый круг: в обоих случаях есть нечто такое, что, мы не можем точно сказать, либо сами тоже являемся людьми и не можем по-настоящему понять, каковы в конечном счете движущие силы, которые определяют их позицию, — что делает человека фундаменталистом или антропоцентристом. Поэтому я полагаю, что между ними, по существу, нет такой уж большой разницы, а та, которая есть, состоит в различии подхода к обсуждаемой проблеме. В результате мы приходим к соображению об ограниченности возможностей создания новых концепций, высказанному доктором Моно. Мне кажется, что это соображение само по себе является очень важной концепцией. Ее суть состоит в том, что все, на что мы смотрим и что трактуем, все явления, которые мы наблюдаем, и теории, которые мы создаем, отражаются в нас и формируют наш интеллект. Им, очевидно, определяется тот объем информации, которым мы располагаем в данное время, и мы приближаемся к некоторой асимптоте, которую по-видимому, невозможно превзойти, поскольку эволюция человечества происходит очень медленно: ее можно достаточно хорошо изобразить в виде очень пологой кривой и никак нельзя представить как линию, которая круто идет вверх. Эти соображения об ограниченности человеческих возможностей приводят нас к новому вопросу, который касается дилеммы: должны мы углубляться в строение материи все глубже и глубже или нет, и должна ли сформулированная только что концепция слепо переноситься и оставаться справедливой применительно к микрообъектам? Мне кажется, что дело обстоит иначе. Мою точку зрения можно представить с помощью графика, который до некоторой степени аналогичен графику профессора Вайскопфа. Я не открою ничего нового, если скажу, что мы всегда начинаем изучать какое-либо явление с его наблюдения, затем дополняем его предполагаемым объяснением, которое известно под названием гипотезы, затем мы проводим контрольный эксперимент или абстрактное рассмотрение (см. рисунок). В результате мы можем сформулировать несколько допустимых теорий и затем, быть может, одну-единственную теорию явления; она уже является, в известной степени, умозрительной. Теперь мы проведем вторую линию, направив ее прямо противоположно соответствующей линии профессора Вайскопфа, и проделаем то же самое, что и он, начав однако, снизу, с организмов, живых существ и переходя далее к макромолекулам, чтобы охватить биологию, к молекулам, атомам, ядрам и, наконец, субядерной материи. Теперь вы видите, что мы пришли к своего рода проблеме сходимости. В настоящее время нам известно, что в целом развитие науки осуществляется путем смещения фронта слева направо. Мы наблюдаем, описываем, классифицируем, создаем феноменологическую теорию, систематику и т. д. Затем уже мы оказываемся в состоянии объяснить существующую между различными явлениями взаимосвязь. Мы связываем явления между собой и пытаемся объяснить их. Мы идем все дальше, и при этом фронт продви-

гается слева направо и снизу вверх, достигая в конце концов вершины! В вершине, правом верхнем углу моего рисунка, находится физика. Психология, нейропсихология и другие подобные им науки расположены слева. Классическая биология непосредственно примыкает к ним справа. Они объясняют, но не доказывают. В действительности все обстоит несколько сложнее, но я упрощаю картину. Далее следует молекулярная биология. Мы пытаемся получить объяснение, основанное на структуре макромолекул. Деятельность биолога свелась к тому, чтобы объяснить то, что он наблюдает. Таким образом, мой рисунок фактически обладает тем преимуществом, что сводимость к физике представлена на нем в явном виде. Это более правильно, поскольку мы чувствуем, что от определенной суммы знаний мы всегда приходим к известной степени понимания, что вначале нам



необходимо несколько теорий, чтобы объяснить наблюдаемые явления, затем у нас остается меньше все более и более фундаментальных теорий и аксиом, которые позволяют объяснить все более широкий класс явлений природы.

C. Бреннер:

Выступая здесь, я выполняю маленький социальный долг перед теми, кто пригласил меня сюда, и теми, кто оплачивает мою работу. Именно поэтому я и решил высказаться. Возможно, что все проблемы, которые сейчас обсуждаются, могут быть решены, если считать, что ни одно из предложенных определений не является правильным и что все мы являемся, по существу, эгоцентристами, которые



наслажаются, занимаясь наукой, а общество оплачивает это занятие. Если оно согласно, чтобы его обманули обещаниями практических приложений в будущем, то эти обещания представляют собой способ продолжать исследования. Очень хорошо. Но если уж мы решили признаваться в своих грехах, то лично меня восхищает тот интеллектуальный стимул, благодаря которому кто-то оплачивает мою научную работу. Я очень доволен. Если вы простите, то я попытаюсь сейчас сказать немногого больше относительно некоторых аспектов биологии. Это может представить интерес с точки зрения натурфилософии, если только такая точка зрения вообще существует. Конечно, существует только одно занятие, которое хуже, чем натурфилософия или чистая наука. Я имею в виду попытки стать социологом, которые, как мне кажется, предприняли сейчас некоторые из нас! Я не берусь утверждать, что подобное «хобби» бесполезно. Но мне кажется, что в настоящее время у меня есть достаточно сил для того, чтобы отстаивать свое право заниматься наукой, и хотя каждым из нас в душе движет стремление внести свою лепту в историю будущего, я буду считать, что в данный момент меня интересуют только проблемы, которые возникают в той области науки, где мне довелось работать, т. е. в молекулярной биологии. Я хотел бы нарисовать еще один маленький график, который представляет собой в точности правый нижний угол графика профессора Вайскопфа, но

в увеличенном виде. Здесь мы вступаем в сферу изучения молекул, клеток, организмов, здесь расположен передовой фронт молекулярной биологии, куда бы он нас ни привел, здесь же передовой фронт медицины, животноводства, физиологии и т. п., и, быть может, кроме того, сюда же следует отнести вопросы, связанные с изучением центральной нервной системы, людей, общества, и, я полагаю, этот перечень можно продолжить до бесконечности. Вопрос, который я хочу обсудить, состоит в следующем: действительно ли биология представляет собой определенную отрасль физики? Если это с необходимостью так, то нам следует перекинуть между ними мост. Мне кажется, что ситуация в биологии, возможно, несколько отличается от той, с которой вы имеете дело в физике. Быть может, это обусловлено современным состоянием науки, поскольку в настоящее время мы не знаем почти никакого пути для получения информации о той бреши, которая существует в наших знаниях: я имею в виду процесс перехода между живым и неживым. Я как раз и хотел бы поговорить об общих особенностях, которыми характеризуется жизнь, как мы представляем ее сегодня, чтобы объяснить, где, на мой взгляд, находится центр тяжести всей проблемы, поскольку здесь, как мне кажется, мы сталкиваемся с явлением совсем иного рода, чем те, с которыми мы имели дело до сих пор. Оно состоит в способности воспроизводить прошлое по очень скучной информации. В очень упрощенном виде проблема состоит в следующем. Каждый знает, что генетическая информация сосредоточена в стерохимической структуре, состоящей из нуклеиновой кислоты, и каждому известно, что мы в состоянии дать с молекулярной точки зрения разумное объяснение тому, как эта информация воспроизводится — правильно или же с искажениями, так как существенно и то и другое, что мы вплотную подошли к пониманию того, каким образом проявляется эта генетическая информация в процессе жизнедеятельности клетки. Теперь мы подходим к тому, что я назвал бы проблемой непрерывности: какова та элементарная структура (если мы в принципе могли бы ее выделить, используя имеющиеся в нашем распоряжении молекулы), которая уже представляет собой живую материю, т. е. обладает способностью к самовоспроизведению? Чтобы осуществить эту задачу, оказалось необходимым использовать значительно больше, чем только одну генетическую информацию. Тот, кто пытается разобраться в проблеме непрерывности, сталкивается с очень глубоким парадоксом, который связан со строением живой материи. Он состоит в следующем. Очевидно, жизнь в том виде, в котором она существует на Земле в настоящее время, насколько нам известно, обусловлена определенным классом молекул, называемых ДНК (дезоксирибонуклеиновая кислота), которые в высшей степени специализированы для переноса генетической информации. Они представляют собой довольно простую линейную структуру. Ситуация такова, что эти молекулы являются дополнительными друг к другу. Это обстоятельство позволяет им абсолютно точно воспроизводить самих себя. Очень существенно, что такая специфическая дополнительность обусловлена химической структурой составных элементов нуклеинового типа, которые химически связаны между собой. Узпающие элементы (если их можно так назвать) также представляют собой химические структуры. Следующая проблема, которую решает клетка, состоит в том, чтобы на основе содержащейся в них информации синтезировать «рабочие» механизмы, каковыми являются молекулы белка, имеющие в высшей степени сложную подвижную пространственную структуру, в противоположность простой структуре молекул ДНК. Природа белковых молекул такова, что они способны вырабатывать множество различных химических соединений, каждое из которых выполняет весьма специфическую химическую функцию в жизнедеятельности клетки. Длительное время эта проблема ставила ученых в тупик. Вопрос, как превратить линейную структуру в сложнейшую трехмерную структуру, если угодно, в трехмерную матрицу, считался неразрешимым. Однако все оказалось весьма просто, так как в основе белка лежит определенная линейная структура, которая состоит из ряда химических соединений, называемых аминокислотами (существует двадцать различных аминокислот). Белок образуется в результате взаимодействия между ними. Мы не знаем детально, как это происходит. Другими словами, взяв определенный набор этих кислот, мы не можем предсказать, во что он превратится. Однако решение этого вопроса является делом нескольких ближайших лет. Таким образом, к узасу своему, мы обнаруживаем в промежутке между этими двумя «дополнительными» молекулами чрезвычайно сложную молекулярную индустрию, которая необходима, чтобы построить одну на основе другой. При этом весьма существенно следующее. С одной стороны, первая структура полностью определяет вторую. Каждый участок одной из них соответствует определенному участку другой. Однако это соответствие возникает в результате фантастически сложных процессов. Основная особенность состоит в том, что исходная химическая единица, в данном случае аминокислота, никогда не может непосредственно распознать химическую структуру соответствующих нуклеиновых связей. Этот процесс представляет собой сложную последовательность химических реакций, в которой некоторые другие химические соединения узнают аминокислоту и подсоединяют ее к адаптеру, который также является специализированной молекулой,

и таким образом происходит узнавание химической информации. Мы видим, что прямой стереохимической связи в данном случае нет. Этот процесс скорее похож на химическую индустрию, построенную в основном из белка. Во всяком случае, в нем принимают участие характерные белковые структуры, которые сами определяются элементами генетического кода. Таким образом, для того чтобы обеспечить непрерывность жизни и передачу генетической информации, необходима по крайней мере какая-то минимальная химическая индустрия, которая осуществляет передачу этой информации рабочему телу. Если все необходимые элементы этой цепи налицо, клетка будет работоспособна. Можно ожидать, что для поддержания этого процесса необходимо около 50 различных молекул. Теперь Вы видите, что возникает парадокс. Законы, которые управляют переходом одних соединений в другие, станут известны в ближайшие несколько лет. Они действуют подобно телефону или словарю и представляют собой генетический код. Мы не можем на протяжении нашей жизни проследить, как развивалась дуальность, которая состоит в том, что, с одной стороны, имеются молекулы, которые способны работать, но не могут размножаться, а с другой,— молекулы, которые способны размножаться, но не могут работать. Необходимы и те и другие, и нужна химическая индустрия. Очевидно, такая система не могла возникнуть сразу. Должно было существовать нечто промежуточное между этой системой и теми химическими соединениями, которые ее образуют. Либо существовала молекула, которая была хорошим репликатором, но плохо работала, а затем постепенно развивала эту способность, или же, что равновероятно, существовала молекула, которая хорошо работала, но была плохим репликатором. Но Вы видите, в любом случае для возникновения дуальности необходимо было еще нечто. Это нечто развивалось благодаря огромной силе естественного отбора. Мы можем в настоящее время видеть в живой природе только то, что выжило в результате этого отбора. Но система не подвержена действию естественного отбора, если она не замкнута *), по той простой причине, что окружающая среда не оказывает влияния на генетическую структуру. Здесь все определяется ею, и если мы не поддерживаем физической связи между различными составляющими, собранными в определенном месте, то естественный отбор не имеет никаких преимуществ.

Таким образом, возникает проблема совсем иного рода, нежели проблемы выяснения механизма работы генов и т. п. Эта проблема кажется мне фундаментальной. Она состоит в следующем: можем ли мы, используя известные нам критерии, построить клетку? Да, мы можем сказать, что мы можем это сделать. Мы можем составить проект, сколько и каких составных компонент для этого необходимо. Но можем ли мы сказать, что должно произойти с определенной смесью углерода, азота, кислорода, фосфора, чтобы из нее возникла живая клетка? Я думаю, что в настоящее время мы можем обсуждать этот вопрос только на натурфилософском уровне, но надеюсь, что, быть может, мы сумеем в дальнейшем поднять его на научную высоту.

Ж. Моно:

Я хотел бы добавить только одно замечание к превосходному описанию того, что представляет собой молекулярная биология, данному доктором Бреннером. Оно состоит в следующем. В начале своего выступления он сказал — и я был крайне удивлен, когда услышал это,— что если бы нас попросили сегодня построить клетку, то нам понадобилось бы информации больше, чем содержится в действительности в ее генетическом коде. Я думаю, что это неверно.

С. Бреннер:

Нет, нет, нет, я этого не говорил...

Ж. Моно:

Слушая Вас, я наконец, напел формулировку, с которой, мне кажется, Вы согласитесь. Нам необходима не дополнительная информация, а дополнительная излишняя информация. Например, с молекулой ДНК, в которой содержится определенный объем информации, мы не умеем делать ровным счетом ничего. Нам необходим еще белок, который, конечно же, содержит такую же самую информацию, причем в точности такую же. Но мы не можем ничего делать, пока не вложим эту информацию в оба типа молекул.

*) То есть, если не замкнут круг, необходимый для редупликации превращений. (Прим. перев.).

B. Вайсконф:

Я думаю, мы должны согласиться с тем, что поднятая проблема содержит нечто весьма фундаментальное. Лицо я благодарен доктору Бреннеру за то, что он донес до нас свое впечатление, что и в этой вершине треугольника тоже «горит священный огонь».

A. Уилер:

Я хотел бы обсудить только один из затронутых Вайсконфом вопросов, который может быть выражен очень простыми словами. Мне кажется, что он уже сказал их, и я хочу лишь поговорить немножко подробнее о том, что уравнения Дирака недостаточно. Эти слова очень сильно напоминают мне об аспиранте, который однажды пришел и сказал, что прочел статью по ядерной физике. Он сказал: «Там повсюду модели. Я ненавижу эти модели: модель независимых частиц, модель прямых взаимодействий, модель жидкой кипы, коллективная модель — я не хочу никаких моделей, мне нужны уравнения, я хочу считать и не хочу стоять перед необходимостью думать». Противоположная философия, разумеется, состоит в том, что уравнения Дирака недостаточно. Как далеки мы сегодня от того старого взгляда на науку, что все, что необходимо — это несколько фундаментальных уравнений и универсальная вычислительная машина! Она даст нам ответы на все вопросы. И не будет никакой необходимости думать! Чем больше мы накапливаем знаний в двух замечательных областях физики — ядерной физике и физике твердого тела, тем лучше мы понимаем, что существует целый ряд промежуточных концепций, которые мы развиваем на пути исследований. Найти их — настоящее искусство, которое заставляет восхищаться достижениями в самых различных областях науки. В ядерной физике существует много концепций, например, ротационные уровни, колебательные уровни и каналы реакции. В физике твердого тела вообще никогда не было получено никаких результатов путем использования одного лишь уравнения Дирака. Разве кто-нибудь смог бы предсказать сверхтекучесть, используя одно только это уравнение? Мы пришли к этим теориям, находясь в контакте с экспериментом. Только благодаря подобным концепциям оказывается возможным извлечь суть из огромного числа экспериментальных данных или расчетов волновых функций с помощью сколь угодно совершенных вычислительных машин. Мы, физики, очень часто считаем, что наша наука является самой великой из всех и что представители всех других наук должны учиться у нас и смотреть на нас снизу вверх. Возможно, мы ошибаемся. Однако если мы вообще что-нибудь дали науке в целом, то я считаю, что об этом позволяет говорить не уравнение Дирака, а то, что мы научились создавать содержательные и стимулирующие концепции. Только они позволяют связать данные наблюдений и динамические законы в «единую гармоничную науку».

Пожалуй, я остановлюсь еще на одном связанном с этим обстоятельстве. Основные концепции термодинамики были сформулированы задолго до того, как были получены и осмыслены основные уравнения элементарной статистической механики, которые лежат в их основе. Существует мнение, что, возможно, и в биологии аналогично термодинамике мы тоже нашли простые принципы, не зная всех элементарных процессов и основных уравнений, на которых они базируются. Мне кажется, все мы согласимся с тем, что аналогия с историей развития физики позволяет думать, что подобное предположение не является беспочвенным. Особенно уместно напомнить загадки термодинамики в связи с размышлениями о загадках жизни. Возьмем, к примеру, ощущение ожога, которое возникает, если сунуть палец в огонь. Оно не сравнимо ни с каким другим ощущением на свете. Кто мог предположить, что это ощущение возникает вследствие взаимодействия частиц! Теперь знаем, что законы теплоты сводятся в конечном счете к законам механики.

Вопрос, который поднял Вики и который всплыл при обсуждении биологических проблем, состоит в следующем: существует ли какое-то фундаментальное свойство жизни, основанное на физических законах или имеющее отношение к ним, которое мы должны найти и которое в настоящее время еще не понято? В связи с этим уместно заметить, что давным-давно Лэнгмюр обратил внимание на чрезвычайно интересную разницу между процессами, которые он назвал сходящимися и расходящимися *). К первому типу он отнес процессы, подобные термодинамическому процессу, который происходит, если слить по кубическим сантиметру кипящей и замерзающей воды. То, что вероятность установления в обоих кубических сантиметрах воды одинаковой температуры неизмеримо больше вероятности того, что разность их температур возрастет, делает его типичным примером сходящегося процесса. Расходящийся процесс Лэнгмюр иллюстрировал на следующем примере.

*) В настоящее время о подобных процессах принято говорить, что они являются соответственно устойчивыми и неустойчивыми. (Прим. перев.).

Индийский океан ежедневно подвергается воздействию палиющего солнца. Испаряется огромное количество воды. В атмосфере скапливается все больше энергии. В один прекрасный день в океан приходит грузовое судно. Перед закатом усталый моряк приходит на нос и закуривает сигарету. От нее идет вверх слабенький поток теплого воздуха. Этот поток порождает постепенно усиливающееся движение воздуха. Он в свою очередь вызывает превращение тепловой энергии в механическую. В результате развивается расходящийся процесс. В Индийском океане начинается ураган. Он распространяется из Индийского океана в Южно-Китайское море. Кто обречен быть уничтоженным этим ураганом и кому суждено остаться в живых, зависит от того, закурил ли моряк сигарету на судне, которое находится рядом или на расстоянии трехсот миль. Ничтожное возмущение усиливается и приводит к грандиозным последствиям. Подобная ситуация возникает и в биологических процессах. Мы знаем, что очень незначительное изменение в процессе эволюции многократно усиливается в процессе репродукции и приводит к очень большим последствиям. С другой стороны, мы знаем также, что имея несколько генетически различных особей, можно получить животных, обладающих заданными свойствами, причем число разновидностей оказывается фантастически огромным. На Земле не хватит места, чтобы вместить их всех.

Точно так же во всей солнечной системе не хватило бы места, чтобы вместить все разновидности человекоподобных существ, которые генетически допустимы. Это означает, что мы в действительности представляем собой ничтожную долю того многообразия, которое потенциально возможно. Что же привело к тому, что реально существует именно эта доля? Случайность. Она состоит в том, что кто-то принял одно решение, а не другое, в том, какую моряк закурил сигарету и т. п. В настоящее время мы еще невероятно далеки от возможности превратить эту идею в нечто подобное второму закону термодинамики. Мы не знаем даже, применимы ли к расходящимся процессам какого-либо рода простые законы или концепции, аналогичные тем, которые мы имеем в термодинамике. Если формулировка подобных содержательных и действенных концепций является основной задачей научной деятельности и если расходящиеся процессы подлежат научному исследованию, то главный вызов человеческой мысли еще не брошен.

Ф. Перрэн:

Я буду краток, поскольку то, что я хотел сказать, уже превосходно выразили в своих выступлениях доктор Раби и Жак Моно. Тем не менее, я хотел бы еще раз подчеркнуть то очень существенное утверждение, что наука воздействует на общество не только и даже не главным образом посредством практических приложений научных исследований. Мы должны вспомнить, что католическая церковь осудила Галилея вовсе не потому, что его мировоззрение могло найти то или иное практическое применение. Это как раз и говорит о том, что общий взгляд на строение Вселенной имеет первостепенное социальное значение. В нашем распоряжении есть и более общий пример — выдающаяся роль, которую сыграла астрономия на пути освобождения человеческого сознания от примитивных космогонических теорий, которые оказывали очень большое влияние на жизнь общества. В основном это влияние было пагубным. Я думаю, что ни в коем случае нельзя считать, что аргумент в поддержку прогресса фундаментальных исследований состоит в том, что в будущем от них будет какая-то практическая польза. Конечно, приложения могут быть, однако что касается некоторых определенных областей науки, подобных физике элементарных частиц или разделу астрономии, связанному с изучением далеких галактик, то, мне кажется, мы можем держать пати, что они не будут иметь практические приложения, и, тем не менее, эти разделы являются важнейшими для науки, для развития человеческого мировоззрения и духа современной цивилизации. Хотя изучение далеких галактик и не имеет никакого отношения к тем условиям, в которых мы живем, и невероятно далеко от каких бы то ни было практических приложений, оно является, вне всякого сомнения, очень важным для человечества, и обсуждению должен, возможно, подлежать только вопрос, имеет ли такое же большое значение физика элементарных частиц безотносительно к возможностям ее практического использования. Здесь только что говорилось о том, что даже для биологии, наряду с весьма важными и разнообразными приложениями, очень существенным является принципиальный вопрос: что такое жизнь? Он важен не потому, что от его решения зависит дальнейшее развитие биологии, а потому, что должен привести нас к пониманию одного из наиболее существенных для нас явлений природы. Решение вопроса о развитии той или иной отрасли науки должно основываться не на соображениях о ценности возможных приложений, а на ее важности для развития наших представлений о природе и прогресса мировоззрения людей. Трудность заключается в недостатке денег, но, как уже говорил профессор Раби, их должно хватить для развития всех фундаментальных отраслей науки: физики

элементарных частиц, астрономии и биологии. Мне кажется, что даже перед комиссией по ассигнованиям мы должны ставить вопрос о путях и средствах, необходимых для развития науки в целом, не апеллируя к возможным практическим приложениям, а подчеркивая интеллектуальную значимость прогресса науки и всеобщий интерес людей не к частным деталям, а к наиболее общим идеям, рожденным этим прогрессом. Он должен пользоваться поддержкой со стороны общества, ибо прямо или косвенно и в большей или меньшей степени в нем заинтересовано все человечество. Общество должно найти средства для развития науки, подобно тому как оно находит их для развития искусства.

Д. Бернардини:

Я хотел бы задать вопрос Раби, произнесшему вдохновенную речь, которую я оцениваю очень высоко. Мне кажется, что мы должны быть очень осторожны, противопоставляя времена Галилея современности, что было сделано Раби с большим остроумием. Галилей очень сильно страдал от отсутствия подходящего языка, на котором можно было бы рассказать о своих открытиях и превратить их, таким образом, в нечто очень значительное для человечества. Поэтому, вместо того чтобы писать на латинском, он пользовался прекрасным итальянским, стремясь разделить с каждым, насколько возможно, глубокий смысл этих открытий. Правда и то, что, говоря о тогдашнем обществе, мы должны помнить, что образованные люди составляли всего лишь малую долю. Но сравним это с той ситуацией, которую мы имеем на сегодняшний день. Возьмем физиков и вспомним, как много фундаментальных открытий было сделано в физике за последние 30—40 лет. Скажем, относительность в ее самом глубоком смысле, которая изменила понятия ковариантности и одновременности и т. п., или, например, квантовая механика, принцип дополнительности, различный смысл физических величин в зависимости от их трансформационных свойств — все это представляет собой язык, который доступен чрезвычайно ограниченному кругу людей. Можем ли мы продолжать идти по этому пути? Не окажемся ли мы в один прекрасный день в положении людей, которых Ван-Хов назвал недавно, говоря о математиках, «людьми, которые сами изобретают проблемы, которые они хотят изучать?»

В. Вайсконф:

Я вспомнил сейчас, по ассоциации, что все выступавшие здесь, и я в том числе, совсем забыли о существовании математики. Теперь мы бросим это обвинение математическому обществу, так что наступил момент, когда доктор Стоун должен сказать нам несколько слов.

М. Стоун:

Я и сам был бы очень рад ограничиться несколькими словами, однако тема, о которой мне придется говорить, очень обширна. Я не уверен, что смогу сжать ее в несколько фраз, и, кроме того, эти фразы, даже после пояснения, несомненно, являются чуждыми для концепций и убеждений, которых придерживаются почти все присутствующие в этом зале.

Мне кажется, что ко всей этой проблеме необходимо подойти с психологической точки зрения. Я не уверен, что все то, о чем здесь говорилось, действительно существует вне нашего сознания. Иными словами, это означает, что я в известной степени являюсь платонистом или кантианцем. Я не уверен, что триплеты, о которых сегодня было так много сказано, и их связь с различного рода мультиплетами и т. д. существуют как физические объекты и действуют на наши органы чувств наравне со светом или с предметами, которые я сейчас вижу, или с пищей, которую я ем. Если взглянуть на всю ситуацию с психологических позиций, то я думаю, что человеческий организм нужно рассматривать как определенный объект, который находится в прямом контакте с окружающим миром только посредством своих органов чувств, которые очень и очень ограничены. Насколько мне известно, есть физические явления, о которых мы знаем, что они существуют, но которые мы не можем ощутить непосредственно. Например, я не уверен в том, что мы можем воспринимать непосредственно поляризацию света, хотя, наверное, существуют организмы, которые в состоянии это делать. Точно так же всем известно, что нашему восприятию недоступен широкий диапазон частот как в случае электромагнитных, так и в случае звуковых колебаний и что существуют другие организмы, которые в этом отношении обладают преимуществом перед нами.

Мы отличаемся от всех остальных живых существ наиболее совершенной структурой мозга — самой загадочной части организма. Мне кажется, что к мозгу нужно относиться как к нашему универсальному органу восприятия, хоть оно и происходит

не непосредственно, а через органы чувств. Мы должны согласиться с тем, что мы воспринимаем окружающий нас мир с помощью мозга (ведь никто не скажет, что зрительный аппарат ограничивается только глазом или сетчаткой) и что то отражение мира, которое в нем возникает, может соответствовать или же не соответствовать достаточно полно и точно физической реальности. Может показаться, что производить наблюдения очень просто. В то время, когда я верил, что наблюдения физиков являются очень точными, однажды я получил поразительный урок, оказавшись свидетелем того, что пытались сделать мои коллеги — археологи. На первый взгляд всеказалось очень просто: необходимо было снять копии со скульптур, находящихся в знаменитом египетском храме, но эта работа требовала, вероятно, времени больше, нежели этот храм мог просуществовать в достаточно хорошем состоянии. Археологи располагали всеми необходимыми возможностями. Они могли рассматривать скульптуры, фотографировать их, сопоставлять всю полученную при этом информацию при наиболее благоприятных условиях. Их задача заключалась в том, чтобы привести ее в такой вид, когда она точно передавала бы все детали — фигуры, иероглифы и т. д. Эта задача была поручена квалифицированным скульпторам. Я видел исправления, которые делались при первой, второй и даже третьей попытке воспроизвести в точности одну-единственную панель. Оказалось, что копиист, который был хорошим копиистом и располагал всей возможной документацией, систематически делал множество ошибок, за которые было полностью ответственно различие между оригинальной скульптурой и ее фотографиями. Другими словами, мозг копииста пытался отобразить нечто, не имея в действительности никакой основы для этого.

Я чувствую, что во всех наших научных дискуссиях мы используем свой мозг как средство переработки огромного объема информации, которая в него поступает, и создания мысленной картины окружающего нас мира. Как мозг делает это? Конечно, это очень сложный вопрос, но в некотором отношении он значительно проще, чем может показаться на первый взгляд. В основном работа мозга совершается при помощи символов. Физики и биологи в действительности имеют дело не с объектами, которые реально существуют в природе, а с теми представлениями об этих объектах, которые накопились в нашем мозгу. Другими словами, в мозгу происходят различного рода искаcжения или даже дополнения, в результате чего возникают символы и представления о том, что существует вне нас. Прежде всего, эти символы и представления могут быть либо следствием непосредственного ощущения либо же воскрешаться в памяти. Но в любом случае они подвергаются существенному воздействию со стороны мозга, поскольку он может искать как то, что воспринимается при непосредственном ощущении, так и то, что удерживается в памяти или сознании. Во-первых, совершенно ясно, что мы можем позаботиться о том, чтобы ограничить тот круг объектов, о которых мы хотим думать. Иначе говоря, мы можем произвести анализ того, что ощущаем, и произвольно отбирать какую-то определенную часть. Так, я могу рассматривать свою руку или ваш нос независимо от их непосредственной принадлежности. Поскольку мозг обладает свойством запоминать, эти отдельные части могут быть собраны воедино; другими словами, после анализа может произойти синтез. В противном случае, как можно было бы объяснить возникновение представлений о таких фантастических существах, как чудовищные грифы, и о других странных мифологических животных? Как еще можно объяснить то, что на каждой заправочной станции нарисована шестиглавая собака? Все это не существует в природе реально, а возникло в мозгу и затем уже было перенесено в реальный мир. Насколько я могу себе представить, в основном за этот процесс ответственны последовательный анализ и синтез, которые происходят в мозгу.

Мозг обладает также свойством ассоциировать, которое, возможно, является наиболее важным из всех: любой объект он может принимать за элементарную единицу, будь то нечто целое или какая-либо его составная часть, или какой-либо элемент из этой части, он может ассоциировать произвольным образом две любые эти единицы. На этом, очевидно, основана речь, равно как и весь аппарат символики. Объект, о котором вы хотите думать или который вы создали, представляет собой нечто, что вы можете ассоциировать с другим объектом, который может рассматриваться чисто условно. Все, что мы сейчас обсуждали, представляет собой собрание символов, и все они имеют для нас определенный смысл, поскольку мы ассоциировали их более или менее произвольным и случайным образом с некоторыми другими символами или представлениями, которые также хранятся в нашем мозгу.

Как же мы оперируем с символами? Это уже является преимущественно областью математиков. Вся работа математиков основана на символах и не требует ничего, кроме них. Если бы у меня было время, я мог бы подробно рассказать о том, как, начиная с 1890 г., математики развивали методы оценки рядов символов и технику работы с ними. Я мог бы попытаться объяснить, какое влияние оказало познание абстрактного, символического характера математики на развитие математики как таковой вплоть до наших дней. Я воздержусь от этого, чтобы не отвлечься от основной темы. Наиболее существен тот факт, что любое изучение символов всегда представляет собой, в сущности, часть математики. Коль скоро символы являются

для нас основным способом познания мира, мы должны использовать математику если хотим понять «окружающую нас физическую реальность».

Необходимо остановиться подробнее еще на одном обстоятельстве, которое никогда нельзя упускать из виду. Я имею в виду тот факт, что любой человек может, начиная с детского возраста, развиваться в достаточной степени, только получив ту информацию, которую уже накопили к этому времени другие люди. Одним словом, память уже не является просто свойством одного индивидуума, а представляет собой результат социального процесса. Так как этот процесс продолжается бесконечно, он, разумеется, в разное время может развиваться различным образом. Но в основном все, что мы узнали, сохраняется в нашей памяти. За последние четыреста лет человечество продвинулось очень далеко по пути накопления знаний, которое было начато нашими предками.

Кумулятивная природа знаний — это единственное объяснение, которое я нахожу для того процесса, который, по-видимому, начинается в настоящее время. Мы говорили здесь в основном об естественных науках, но есть еще одно направление, которое тоже следует причислить к научным; я имею в виду социологию. Сюда, если хотите, можно включить множество дисциплин, начиная от психологии, с одной стороны, и кончая антропологией и экономикой, — с другой. Я полагаю, что мы являемся свидетелями первых успешных попыток разумного и эффективного использования хорошей символики и, следовательно, математического подхода в этих областях знания. Я ожидаю, что ближайшие 25—50 лет будут знаменовать собой внедрение математических методов за пределами сферы их обычного применения, какой пока что является область естественных наук — астрономия, физика и химия. Вероятно, с этим будет связано существенное изменение и самих математических методов по сравнению с теми, которые обычно используются в точных науках. Например, я слышал, что биологи уделяют самое значительное место в их науке теории информации. Теория информации связана с кибернетикой и статистической механикой, но представляет собой совсем иную ветвь математики, нежели та, которую мы имеем в виду, говоря о приложениях к физике. Действительная причина, по которой мы можем ожидать, что различным наукам будут соответствовать различные ветви математики, состоит в том, что даже если допустить существование единой теории материи, остается еще большая трудность, связанная с переходом от одной науки к другой, поскольку такой переход требует обязательного знания асимптотических условий, которые чрезвычайно существенны, а мы, математики, не знаем, как их правильно сформулировать. Классическим примером подобной ситуации может служить переход от обычной механики к статистической, которая необходима для описания свойств макроскопических объектов с помощью статистических аргументов. Соответствующий анализ очень труден, и даже сейчас, оглядываясь на уже проделанную работу, я думаю, что с математической точки зрения реально пройдено лишь несколько первых шагов. Если вы хотите заняться гидродинамикой, вы не обязаны начинать со статистической механики — вы можете начать с основных уравнений гидродинамики и использовать их в дальнейшем. Вы можете обратиться к статистической механике для рассмотрения вопросов, связанных с турбулентностью, или для того, чтобы заполнить пробелы в теории, но у вас нет ясно очерченного пути, который позволил бы пересечь бездну, лежащую между механикой частицы и механикой непрерывной среды. Я думаю, что такая ситуация сохранится еще в течение очень длительного времени, пока наши позиции в математике не возратят намного. Когда речь идет о психологии и экономике, то соответствующие им математические методы должны быть приспособлены для описания совершенно иных объектов и проблем. Таким образом, легко согласиться с тем, что в настоящее время нам придется работать, так сказать, на «разных уровнях». Математики могут оказаться в известном смысле единственным связующим звеном между всеми науками просто потому, что все будет в конечном счете сводиться к математическому анализу, включающему, скажем, новое уравнение, новую проблему или даже новую математическую теорию.

Развитие математики как таковой также опирается на вытекающие отсюда возможности. В первую очередь это известная теория возмущений, которая возникает из самой природы математической символики. Насколько я могу судить, мы в настоящее время совершаляем нечто подобное вращению по замкнутому кругу. В каком-то смысле нечто аналогичное происходит в теории мультиплетов и элементарных частиц, когда вы можете идентифицировать какую-либо физическую сущность как нечто элементарное, но затем оказывается, что это не так, а просто ее свойства описываются с помощью другого математического аппарата, и снова начинается вращение по кругу. Я сказал бы, что в настоящее время существуют три основные алгебры, быть может, даже четыре: первая — основные понятия и символы математической логики, которые, если угодно, превращают логику в алгебру; далее, основные идеи алгебры, которые включают математическую логику; и, наконец, в самое последнее время возник новый подход, включающий все эти понятия, — так называемая теория категорий, которая в свою очередь может рассматриваться как особого рода алгебра,

дающая в наше распоряжение очень сильные и общие алгебраические методы. Таким образом, снова создается впечатление вращения по замкнутому кругу, и можно было бы думать, что все дальнейшее развитие математики сведется просто к разработке этих идей. Единственный путь выхода за эти рамки связан с математическими методами описания бесконечных систем. Физики, по существу, никогда не знают, с какой системой, конечной или бесконечной, они имеют дело. Конечна ли Вселенная? Ограничено ли число элементарных частиц, которые в ней существуют? В любой разумной дискуссии удобно ограничиться следующей постановкой вопроса: существует лишь конечное число различных типов частиц, которые мы можем реально наблюдать. Но в таком случае математика, которой мы пользуемся, является неправильной, ибо в физических теориях мы используем математику, которая имеет дело с бесконечностями, в частности, с континуумом вещественных чисел. Но в этом, тем не менее, заключается и преимущество, так как бесконечные системы оказываются значительно более разнообразными и постоянно открывают возможности для возникновения новых ветвей математики. Если Вселенная конечна, то может прийти конец и нашим исследованиям ее строения. Но неограничено число бесконечных систем, которые могут явиться предметом изучения математиков. Кроме того, развитие в самом широком смысле этого слова включает также и совершенствование человека и общества, и в связи с этим перед математикой открывается значительно более широкое поле деятельности, чем замкнутый круг физических задач. Лично я не вижу никаких оснований, чтобы думать, что того, что мы знаем или же можем узнать, достаточно, чтобы прийти к окончательным выводам о строении Вселенной. Я полагаю, что наша судьба, вероятнее всего, состоит в том, чтобы бесконечно продолжать исследования в различных направлениях, которые никогда не смогут себя исчерпать. И уж во всяком случае можно не сомневаться в том, что они не исчерпают себя за время жизни любого из присутствующих в этом зале.

Я понимаю, что говорил недостаточно хорошо, и прошу принять мои извинения: очень трудно облечь все эти проблемы в словесную форму. В заключение я хотел бы только раз подчеркнуть следующий факт: что бы мы ни делали, все получаемые нами результаты представляют собой продукт деятельности нашего мозга. Даже когда мы ставим эксперимент, он «проектируется» нашим мозгом и находит объяснение только в терминах какой-либо теории. Таким образом, даже в этом отношении мы зависим от математики во всех областях знания. Каждый физик знает, что ему необходима математика, хотя временами ему очень хочется не зависеть от математиков. Он рад, что вычислительные машины позволяют уменьшить ненадежность, присущую математикам, но он знает, что этого никогда не будет достаточно, какие бы совершенные машины построены ни были.