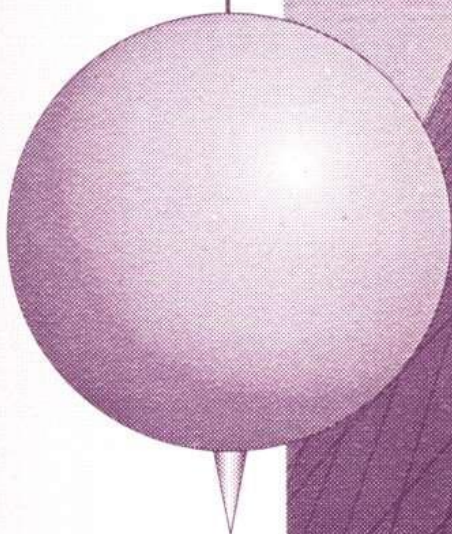


Марио Бунге

ФИЛОСОФИЯ
ФИЗИКИ



Mario Bunge

Philosophy of Physics

Марио Бунге

**ФИЛОСОФИЯ
ФИЗИКИ**

Перевод с английского
Ю.Б.Молчанова

Издание второе, стереотипное

Москва • 2003



УРСС

Бунге Марио

Философия физики: Пер. с англ. Изд. 2-е, стереотипное. — М.: Едиториал УРСС, 2003. — 320 с.

ISBN 5-354-00439-X

Настоящая книга написана известным канадским ученым, специалистом в области философии естествознания, профессором Марио Бунге. В ней широко освещаются многие современные проблемы философии, методологии и оснований физики. Автор говорит о том, чем является философия для физики, как следует вводить основные понятия физической теории, в чем заключается использование аксиоматики в физике, о соотношении между собой физических теорий, теории с экспериментом, а также рассматривает многие другие вопросы, с которыми сталкиваются в своей повседневной работе ученые-физики — исследователи и преподаватели.

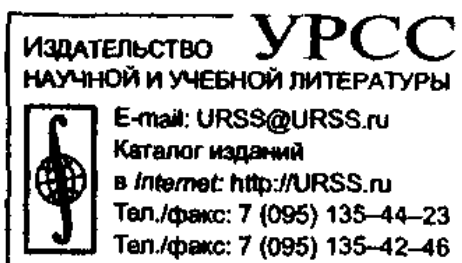
Книга может быть использована как для самостоятельного чтения, так и в качестве учебного пособия для студентов и аспирантов.

Издательство «Едиториал УРСС», 117312, г. Москва, пр-т 60-летия Октября, 9.

Лицензия ИД № 05175 от 25.06.2001 г. Подписано к печати 10.07.2003 г.

Формат 60×90/16. Тираж 2000 экз. Печ. л. 20. Зак. № 3-1001/215.

Отпечатано в типографии ООО «Рохос», 117312, г. Москва, пр-т 60-летия Октября, 9.



ISBN 5-354-00439-X

Предисловие автора

В этой книге рассматриваются некоторые современные проблемы философии, методологии и оснований физики. В частности, следующие проблемы:

— Содержат ли математические формализмы интерпретации самих себя или же их необходимо дополнять интерпретационными предположениями, и если да, то как эти предположения следует формулировать?

— Что описывают физические теории: физические системы или лабораторные операции, или и то и другое, или ни то, ни другое?

— Как следует вводить основные (basic) понятия теории: путем ссылок на измерительные операции, или с помощью ясных определений, или же аксиоматически?

— В чем состоит использование аксиоматик в физике?

— Как соотносятся между собой физические теории: подобно китайским коробочкам (русским матрешкам) или же более сложным образом?

— Какова роль аналогий при построении физических теорий и их интерпретации? В частности, неизбежны ли классические аналогии вроде частицы и волны в квантовых теориях?

— Какова роль прибора в квантовых явлениях и каково место теории измерения в квантовой механике?

— Как теория соотносится с экспериментом: непосредственно или с помощью дополнительных теорий?

С этими и некоторыми другими подобными им вопросами сталкивается в своей повседневной работе и физик-исследователь, и физик-преподаватель, и физик-студент. Если ими пренебречь, они всплывут позже, и неверный ответ на них может запутать понимание того, что уже достигнуто, и даже затруднить дальнейшее продвижение. Философия, методология и основания науки подобны кустам роз: они способны доставлять наслаждение, когда за ними ухаживают, и становятся неприятными и колючими, когда ими не занимаются.

Для чтения этой книги не нужно никаких предварительных условий, кроме знакомства с теоретической физикой на уровне начальных учебных курсов и искреннего интереса к предмету. Книга может быть использована как для самостоятельного чтения, так и в качестве учебного пособия для студентов и аспирантов.

Я весьма признателен Канадскому Совету исследовательского фонда Киллэма за предоставленную мне возможность завершить работу над этой книгой.

Марио Бунге

ПОСВЯЩЕНИЕ

Тем, кто продолжает изучать физику, ибо любит ее, и кто, несмотря на все предшествующее обучение, требования скорейших результатов и давление конъюнктуры, все еще любит свою науку, не оставляет надежды на лучшее понимание ее и отваживается задавать радикальные вопросы. Ибо свет истины для них дороже всего.

Философия: маяк или ловушка?

Было время, когда от философии ожидали решения чуть ли не всех вопросов. Философы самонадеянно вычерчивали главные линии картины мира, а физикам оставляли подсобную роль ее дополнения. Когда этот априористский подход потерпел неудачу, физик заодно отказался и от философии. Сейчас он не ожидает от нее ничего хорошего. Уже одно слово «философия» способно вызвать у него ироническую или даже презрительную улыбку. Ему не доставляет удовольствия свободное вращение в пустоте.

Однако пренебрежение философией не избавляет от нее. В самом деле, когда мы говорим об отсутствии интереса к философии, то, вероятно, лишь заменяем философию эксплицитную, явную, философией неявной, имплицитной, а следовательно, незрелой и неконтролируемой. Современный физик отбрасывает устаревшие догматические системы, наполовину непроверяемые и наполовину ошибочные и, как правило, бесплодные в своем большинстве, только для того, чтобы некритически воспринять некоторую альтернативную систему философских догм. Эта домотканая философия, крайне популярная среди физиков-профессионалов, с начала нашего столетия выступает под наименованием *операционализм*. В ней считается, что символ, так же как и уравнение, имеет физическое значение лишь в той мере, в какой он соотносится с некоторыми возможными операциями человека. Это ведет к утверждению, что физика в целом — наука об операциях главным образом измерительных и вычислительных, а не наука о природе. Данная точка зрения представляет собой возвращение к антропоцентризму, превалировавшему до рождения науки.

Студент-физик усваивает операционалистскую философию с самого начала курса своего обучения. Он находит ее в учебниках и лекционных курсах, а также имеет дело с ней на семинарах. Он редко сталкивается с критическим анализом этой философии, обычно осуществляемым философами, которых он не читает. Более того, искушение покритиковать официальную философию науки вряд ли вызовет сочувственную реакцию, поскольку операционализм является ортодоксальной верой и всякое отклонение от него, вероятнее всего, будет осмеяно или даже наказано.

Но так или иначе, а операционалист и его критик занимаются философствованием, что само по себе не является чем-то необычным или трудным. То, что действительно трудно, так это разрабатывать хорошую философию, и это куда труднее, чем отказ от философии вообще. Короче, физик не может остаться философски нейтральным. В большинстве случаев он непреднамеренно придерживается системы философских принципов, которые и будут рассмотрены в дальнейшем.

1. Официальная философия физики

Современный физик, сколь бы в технических вопросах искушенным и критически настроенным он ни был, обычно догматически придерживается так называемого «кредо» наивного физика. Основные догмы этого кредо следующие.

I. Наблюдение — источник и предмет (сopsegn) физического знания.

II. Ничто не реально, если оно не может стать частью человеческого опыта. Физика в целом имеет отношение именно к этому опыту, а не к объективной реальности. Следовательно, физическая реальность — это некоторая часть человеческого опыта.

III. Гипотезы и теории физики представляют собой лишь сконденсированный опыт, индуктивный синтез экспериментальных данных.

IV. Физические теории не создаются, а открываются, они могут быть прослежены во множестве эмпирических данных, таких, как лабораторные таблицы. Спекуляции и изобретательство едва ли играют какую-либо роль в физике.

V. Целью построения гипотез и теоретических схем является систематизация некоторой части растущего запаса человеческого опыта и предсказание его новых данных. Ни в коем случае не следует пробовать объяснять реальность. Менее всего следует пытаться понять существенное.

VI. Гипотезы и теории, которые включают понятия ненаблюдаемых объектов (электроны, поля), не имеют физического содержания, они играют роль лишь математических мостов между действительными или возможными наблюдениями. Эти трансэмпирические понятия не относятся к реальным, но невоспринимаемым объектам, а представляют собой вспомогательные понятия, лишенные референтов.

VII. Гипотезы и теории физики не являются более или менее истинными или адекватными, поскольку они не соответствуют никаким объективно существующим предметам. Они служат простыми и эффективными способами систематизации и обогащения нашего опыта, а не компонентами картины внешнего мира.

VIII. Каждое важное понятие должно иметь логическое определение. Следовательно, каждое хорошо организованное рассуждение должно начинаться с определения ключевых терминов.

IX. Значение фиксируется определением, неопределенный символ не имеет физического значения и поэтому может существовать в физике только как вспомогательное математическое средство.

X. Символ получает некоторое физическое значение с помощью операционального определения. Все, что не определено с помощью возможных эмпирических операций, не имеет физического значения и должно быть отброшено.

Высказывая или принимая эти десять заповедей, большинство современных физиков, по крайней мере на словах, придерживается их. Это не значит, что все те, кто клянется этими десятью заповедями, фактически им следуют. На самом же деле ни один физик не получил бы принципиально новых результатов, если бы он действовал в строгом соответствии с этими десятью заповедями, ибо последние не отражают реального процесса научного исследования и не способствуют ему. Далее я попытаюсь доказать, что операционализм является ложной философией физики.

2. Наблюдение и реальность

Аксиома I, согласно которой наблюдение является источником и объектом физического знания, отчасти истинна. Несомненно, что наблюдение дает некоторое рудиментарное знание. Но даже обычное знание идет дальше наблюдения, когда оно постулирует существование ненаблюдаемых сущностей, таких, как радиоволны и внутреннее строение твердого тела. А физик идет еще дальше, изобретая идеи, которые нельзя было бы получить из повседневного опыта, такие, как понятие мезона или закон инерции. В конечном счете неверно, что наблюдение — источник любого физического знания. Это так же ошибочно, как и утверждение, что истинные наблюдения только те, которые не запятнаны теорией.

Кроме того, наблюдение, рассматриваемое как действие, является предметом психологии, а не физики. Так, теория упругости — это теория упругих тел, а не человеческих наблюдений над такими телами. Иначе специалист по теории упругости наблюдал бы поведение своих коллег-физиков, а не поведение упругих тел и предлагал бы гипотезы, касающиеся знания этих вещей, вместо того чтобы попытаться найти гипотетическое объяснение внутренней структуры и видимого поведения упругих тел. В действительности же мысль о некоторых элементарных проблемах явления упругости была подсказана разумным (то есть «пропитанным» теорией) наблюдением, и любая теория упругости должна быть проверена экспериментами, которые включают и наблюдения. Но эти соображения совсем не тождественны утверждениям аксиомы I.

Аксиома II относится к метафизике; ее цель — уйти от понятия реальности или на самый крайний случай вывести его за пределы научного исследования. До эры операционализма каждый физик полагал, что он манипулирует реальными вещами или имеет некоторые идеи относительно их. Именно это он и продолжает делать до сих пор, когда работает, а не философствует. В последнем случае, однако, практический реалист часто превращается в эмпирика. Только отдельные консерваторы, подобно Эйнштейну, отваживались утверждать в расцвет операционализма, что физика пытается познать реальность. Недоверие к понятию реальности было, видимо,

через позитивизм и прагматизм унаследовано от британских эмпириков и от Канта, которые критиковали утверждения схоластов и других спекулятивных философов, будто мы в состоянии понять неизменную реальность, лежащую за пределами изменяющегося человеческого опыта. Но здесь подразумевалось весьма специальное употребление термина «реальность», которое представляет для нас лишь исторический интерес. И как бы ни было скучно толочь воду в ступе традиционной метафизики, все же интересно узнать, действительно ли физика связана с метафизикой опыта вместо старой метафизики субстанции или же она по-прежнему отвергает обе.

Конечно, физика не исключает понятия реальности, но ограничивает ее физическим уровнем, предоставляя другим наукам исследование иных уровней, в частности уровня человеческого опыта. Ни одна физическая теория не высказывает предположений, что ее объектами должны быть чувства, мысли или действия человека. Физические теории — это теории о физических системах. Конечно, хотя физика и не связана с изучением человеческого опыта, она радикально расширяет и углубляет его. Так, получение пучка частиц, обладающих энергией в 1 Гэв, является новым человеческим опытом, так же как и понимание результата рассеяния этого пучка на мишени. Однако стадия планирования и осуществления эксперимента, равно как и разработка соответствующей теории, должны опираться на знания о частицах, а не о людях. Точно так же астрофизик, который изучает термоядерные реакции в недрах звезд, проникает в них не иначе как только мысленно. Он не имеет никакого непосредственного опыта относительно изучаемых им объектов. Однако он полагает или по крайней мере надеется, что его теории имеют нечто реальное, им соответствующее. Конечно, эта вера или, вернее, надежда не беспочвенна в отличие от метафизики прошлого. Ученый проверяет свои теории, сопоставляя их с наблюдаемыми данными, многие из которых могут быть поняты в свете именно тех теорий, которые он проверяет. Иначе говоря, если для проверки наших физических идей необходимы опытные данные различных видов, то эти опытные данные еще не являются референтами упомянутых идей. Искомым референтом физической идеи является реальная вещь. Если случает-

ся, что эта конкретная вещь оказывается нереальной, то тем хуже для идеи. Реальность, видимо, не печалится о наших неудачах. Но если мы пренебрегаем реальностью или отрицаем ее существование, то мы приходим к тому, что оставляем науку и отдаемся во власть наихудшей из всех возможных метафизик.

3. Природа физических идей

Аксиома III относительно природы физических гипотез и теорий экстраполирует на физическую науку то, что имеет силу для одной из областей обыденного знания. Верно, что многие общие утверждения представляют собой индуктивный синтез или суммирование эмпирических данных. Однако ошибочно было бы утверждать, что любая общая физическая идея образована путем индукции из совокупности индивидуальных опытных данных, то есть наблюдений. Рассмотрим формулы теоретической физики. Даже наиболее «практичные» из них — формулы физики твердого тела — содержат более или менее изощренные теоретические понятия, далекие от непосредственного опыта. Более того, гипотезы и теории скорее выделяют опыт, нежели суммируют его, ибо они наводят на мысль о новых наблюдениях и экспериментах. Однако не это наиболее важно в функциях гипотез и теорий. Мы ценим их в первую очередь потому, что они позволяют нам более или менее схематично дать набросок реальности и приближенно и постепенно объяснять последнюю.

Ничего нельзя объяснить, указав на нечто как на факт опыта или удостоверившись, что некоторое утверждение охватывает ряд экспериментальных данных. Опыт сам подлежит объяснению, и это объяснение составляет задачу теории. В частности, физические теории, отнюдь не будучи «блоками консервированного опыта», позволяют объяснить одну из сторон человеческого опыта, который сам в свою очередь составляет лишь некоторую часть реальности. Однако их недостаточно, ибо любой человеческий опыт представляет собой макрофакт со многими аспектами и реализуется он на некотором числе уровней, начиная с физического уровня и до уровня мышления. Поэтому соответствующее его объяснение требует взаимодействия физических, химических, биологических,

психологических и физиологических теорий. Одним словом, физические идеи выходят далеко за пределы опыта, и именно поэтому они вносят вклад в его объяснение. Таким образом, третья аксиома официальной философии физики ошибочна. К тому же она и вредна, поскольку поддерживает миф, согласно которому ни одна теория не является необходимой, тогда как все данные эксперимента важны.

Аксиома IV фактически является следствием аксиомы III. Если теории представляют собой индуктивный синтез, то они не создаются, а формируются путем накопления эмпирических составляющих, почти так же как облако образуется путем собирания водяных капелек. Ошибочность этого тезиса следует из ошибочности аксиомы III, но может быть продемонстрирована независимо указанием на то, что любая теория содержит такие понятия, которые не встречаются в данных, привлекаемых для ее проверки. Так, механика сплошных сред использует понятие внутреннего напряжения, но поскольку это понятие представляет ненаблюдаемую величину, оно не фигурирует в данных, используемых для того, чтобы проверить или сформулировать любую частную гипотезу относительно определенного вида тензора напряжений.

Против аксиомы IV может быть выдвинут еще один, психологический, аргумент. Ни одна физическая теория не появилась как результат созерцательных размышлений над поведением вещей или над опытными данными. Каждая физическая теория — это кульминация творческого процесса, который шел гораздо дальше непосредственных данных. Это происходит не только потому, что любая теория содержит понятия, которые не встречаются в соответствующих им экспериментальных утверждениях, но еще и потому, что для любого определенного множества данных имеется неограниченное число теорий, которые могут их объяснить. Не существует единственного пути от данных к теориям. С другой стороны, путь от основных предположений теории к ее проверяемым следствиям является единственным в своем роде. Короче говоря, если индукция неопределенна, то дедукция однозначна. Кроме того, теории не являются фотографиями, они не имеют сходства со своими референтами, а представляют собой символические конструк-

ции, которые в каждую эпоху создаются с помощью имеющихся в наличии понятий. Научные теории — отнюдь не результат индуктивного суждения. Они суть творения, несомненно подлежащие эмпирической проверке, но не становящиеся от этого чем-то менее творческим.

4. Цель физических идей

Аксиома V, касающаяся цели физических теорий, является односторонней и предполагает, что имеется только одна цель. Верно, конечно, что систематизация, упорядочение, представляет собой одну из целей теоретических построений, но эта цель не единственная. Синоптические таблицы, числовые таблицы и графики служат такими же способами концентрации и упорядочения данных, но ни один из них недостаточен для объяснения сути происходящих явлений. Для того чтобы что-то объяснить, мы должны дедуктивно вывести утверждения (statements), описывающие тот или иной факт, а дедукция требует предпосылок, которые выходят за рамки того, что подлежит объяснению. Эти предпосылки и являются гипотезами, содержащими теоретические понятия. Одним словом, основная функция физических теорий состоит в объяснении физических фактов.

Объяснения бывают поверхностные и глубокие, и мы не успокоимся на первых, если можем получить последние. Далее, чтобы дать глубокое объяснение, дойти до сути вещей, мы должны строить гипотетические механизмы — не обязательно, конечно, с помощью обычной механики. Но механизмы, за исключением макрофизических и собственно механических, ускользают от восприятия. Только глубокие (нефеноменологические) теории могут объяснить их. Другими словами, чтобы достигнуть глубокого объяснения, будь то в рамках физики или какой-либо другой науки, должны быть созданы глубокие теории, выходящие как за пределы чувственного опыта, так и теорий, относящихся к типу «черного ящика».

Во многих случаях такие теории, видимо, глубже проникают в сущность своих объектов. Следовательно, нельзя утверждать, что физика, поскольку она не идет дальше отношений и регулярностей, не схватывает сущности вещей. Имеются основные, или существенные, свойства,

как, например, масса и заряд, которые являются источником ряда других свойств. Точно так же имеют место основные, или существенные, структуры (patterns), включающие некоторые из этих источников свойств и приводящие к появлению производных структур. Конечно, нет каких-либо неизменных сущностей, познать которые может только интуиция. Более того, любая гипотеза относительно существенного характера данной совокупности свойств и законов подлежит уточнению. Но фактом остается то, что, поскольку физика идет дальше внешнего, необходимого, но недостаточного бихевиористского подхода, она подрывает постулат V.

5. Теоретические понятия и истина

Аксиома VI является обычной для конвенционализма, прагматизма и операционализма (которые можно рассматривать как прагматистскую философию науки). Если ее принять, то нам придется отказаться от большинства референтов физической теории и мы остаемся с пустыми исчислениями. Ибо физическую теорию в противоположность чисто математической характеризует то, что она рассматривает (правильно или ошибочно — это другой вопрос) физические системы. Если теория не рассматривает какого-либо класса физических систем, ее нельзя квалифицировать как физическую теорию. Следовательно, шестая догма ошибочна в семантическом отношении. Она ошибочна также и с психологической точки зрения, ибо если бы теории были не чем иным, как только машинами, перерабатывающими данные, то никто не беспокоился бы об их создании, так как цель теоретиков — дать объяснение какой-либо части реальности. Итак, аксиома VI ошибочна во всех отношениях. Тем не менее она имеет исторические заслуги, которые состоят в дискредитации наивного реализма. Сейчас мы начинаем понимать, что физические теории являются не портретными воспроизведениями реальности, а содержат грубые упрощения, ведущие к идеальным схемам или моделям объектов, таким, как представления об однородном поле или свободной частице. Мы также признаем, что, кроме этого, нам нужно договориться о единицах измерения. Однако все это не превращает физику в голую фикцию или в некое множество соглашений, точно так же как описание наблю-

даемого явления на обыденном языке не является пустым только потому, что изложено в конвенциональной системе знаков.

Что касается *аксиомы VII*, стремящейся элиминировать понятие истины, то она следует из конвенционалистского тезиса. Ибо, если физика не есть наука о реальных объектах, тогда и ее утверждения также не являются таковыми, то есть они не являются более или менее истинными (или ложными) формулами. Но эта доктрина не совпадает с практикой физиков. В самом деле, когда теоретик выводит какую-либо теорему, он утверждает, что последняя является истинной в данной теории или в теориях, к которым она относится. И когда экспериментатор подтверждает теорему в лаборатории, он делает вывод, что данное утверждение истинно, по крайней мере частично, по отношению к известным эмпирическим данным. Короче говоря, физики, как теоретики, так и экспериментаторы, пользуются понятием истины и были бы даже шокированы, если бы им сказали, что они не следуют ей.

Конечно, физические истины относительноны в том смысле, что они имеют силу только для определенного множества предположений, которые временно рассматриваются как доказанные, то есть не подвергаются сомнению в данном контексте. Они являются также частичными или приблизительными истинами, ибо их подтверждение всегда частично и, кроме того, ограничено во времени. Но истина не есть иллюзия только потому, что она относительна или частична. Что же касается простоты или эффективности, которым вместо истинности поклоняется прагматист, то их можно найти не во всякой теории. Наиболее глубокие физические теории, такие, как общая теория относительности и квантовая механика, являются также и наиболее содержательными. Практическая эффективность теории может быть достигнута только тогда, когда она проникает в прикладные науки или технологию. Простота или сложность физической теории делает ее более эффективной или менее эффективной, но не более истинной или менее истинной. Сырая теория, примененная с достаточным мастерством для практических целей, может быть столь же эффективна, как и совершенная теория, хотя, естественно, чем более истинна теория, тем больше ее эффективность. Во

всяком случае, эффективность не является свойством, внутренне присущим теориям самим по себе; это свойство, принадлежащее двойке: цель-средство. Теории используются и в технологии, но их эффективность оценивается только по отношению к той цели, которой они призваны служить. В результате и седьмая аксиома официальной философии физики оказывается ошибочной.

6. Определение

Аксиома VIII, согласно которой каждое понятие должно быть определено с самого начала, явно абсурдна. Любое понятие определяется через другие понятия, поэтому некоторые из них остаются без определений. Так, в ньютоновой механике понятия массы и силы являются первичными (primitive) (логически неопределяемыми). Однако их нельзя назвать неясными или неопределенными, потому что они специфицируются рядом формул. Любая хорошо сформулированная теория начинает не с группы дефиниций, а, скорее, со списка логически неопределяемых, или первичных, понятий. Такие понятия представляют собой единицы, которые в сочетании с логическими и математическими понятиями вновь и вновь встречаются на каждой стадии построения теории. Они служат существенными, или основными, понятиями в данной теории, без которых она не может обойтись. Все остальные понятия, определяемые с помощью первичных понятий, являются логически вторичными. Следовательно, восьмая догма, на которую ориентируются многие учебники, также ошибочна.

Аксиома IX, касающаяся процедуры приписывания значения символу, в общем случае не действительна. Дефиниции приписывают значения при условии, что они сформулированы с помощью символов, которые сами имеют значения. Таким определяющим символам значение не может быть приписано с помощью дефиниций именно потому, что они являются определяющими, а не определяемыми. Следовательно, чтобы установить значение основного, или неопределяемого, физического символа, должны быть изысканы средства, отличные от определения.

Можно указать все три условия, которым должен удовлетворять символ: (а) математическое условие, то есть

формальные свойства, которыми он, по предположению, должен обладать; (б) семантическое условие, то есть предположение о том, какой физический объект или свойство символ должен представлять, и (в) физическое условие, то есть предполагаемые отношения к другим имеющим физический смысл символам данной теории, которым он должен удовлетворять. Поскольку каждое условие представляет собой некоторую аксиому или постулат, задача приписывания физических значений в недвусмысленном и явном виде осуществляется с помощью аксиоматизации теории, в которой встречаются рассматриваемые символы (подробнее об этом см. в главах 7 и 8). Так, в механике сплошных сред первичный символ 'Т' обозначает понятие внутреннего напряжения и имеет определенную математическую форму (а именно тензорное поле на четырехмерном многообразии) и определенный референт (а именно некоторое свойство тела). Это последнее предположение, семантическое по своей природе, не является конвенцией подобно дефиниции, а представляет некую гипотезу. Конечно, оно может оказаться бессодержательным, тем более что, насколько мы знаем, не существует никаких континуальных материальных тел. Однако в теории выдвигается гипотеза, что такие тела есть. И если теория работает, тела могут рассматриваться как приблизительно континуальные. В итоге основному физическому символу значение придает не дефиниция, а теория в целом с тремя ее ингредиентами: математическими, семантическими и физическими предположениями. Если бы оказалось, что теория ошибочна, ее первичные понятия сохранили определенное значение, но были бы уже бесполезными. Во всяком случае, девятая аксиома ошибочна, так как только вторичные символы получают значение с помощью определений.

7. Операциональные определения

Наконец, является также ошибочной и аксиома X относительно так называемых операциональных определений. Если применять ее к случаю электрического поля, характеризующегося напряженностью E , то эта аксиома утверждает, что ' E ' приобретает физическое значение только тогда, когда предписывается процедура для измерения величины E . Но это неверно: измерения позволяют

нам определить только конечное число значений функции, более того, они обеспечивают лишь рациональные или дробные значения. К тому же числовые значения величины или физического количества представляют только одну из ее составляющих. Например, понятие электрического поля является, рассуждая математически, функцией и поэтому имеет три ингредиента: два множества (области определений и значений функции) и точное соответствие между ними. Множество измеренных величин — это только «выборка» из множества значений функции. Однако, если нет четко очерченной идеи о вещи в целом, остается неизвестным, как приступить к получению такой выборки. То есть измерение, вместо того чтобы приписывать значение, предполагает его.

Кроме того, измерения величины E всегда косвенны: поля доступны опыту только через их пондеромоторные действия, причем путей измерения существует много. И если бы каждый из них определял некоторое понятие напряженности электрического поля, то мы имели бы ряд различных понятий последнего, а не одно-единственное понятие, входящее в теорию Максвелла. Если мы хотим узнать, что означает ' E ', то должны заглянуть в теорию Максвелла. Значения определяются не действиями, а мышлением. Только с разумной и ясной идеей стоит идти в лабораторию. В итоге аксиома X неверна. Не существует никаких операциональных определений. Вера в их существование проистекает из элементарного смешения определения (чисто концептуальной операции, неприложимой, кроме того, к основным понятиям) с измерением — операцией, которая является не только эмпирической, но также и концептуальной.

Этим завершается наша критика «кредо» наивного физика. В ней использовались немногие философские средства, главным образом логические и семантические, и еще меньше было взято контрпримеров из физики. Но результат ясен: если наши критические замечания в какой-то мере справедливы, то философия, сформулированная ясным образом, может оказаться полезной в том, чтобы несколько рассеять туман, окутывающий физику.

8. На пути к новой философии физики

Несостоятельность операционализма не означает конца философии физики. Операционализму существует множество альтернатив: таковы почти все философские школы. Однако большинство из них не смогли привлечь внимание физиков по следующим причинам.

Во-первых, эти философские системы созданы философами-профессионалами, а не учеными-естествоиспытателями, и, разумеется (хотя это и не вполне рационально), ученый-естествоиспытатель склонен больше доверять не философу, а своему коллеге, который, как ему кажется, сам для себя «выткал» философию и говорит с ним на одном языке. Во-вторых, общие философские системы, противостоящие операционализму, уж слишком общи, а порой и не ясны, они редко утруждают себя детальным анализом какого-либо определенного раздела науки, занимаясь больше вненаучными проблемами (религиозными, политическими и т. д.), которые не имеют непосредственного значения для научных теорий или экспериментов. В-третьих, большинство философов, занимающихся философскими вопросами физики и придерживающихся точек зрения, отличных от операционализма, едва ли имеют отношение к физике. Они не интересуются конкретными теоретическими рассуждениями и экспериментами, а занимаются мини-проблемами, решение которых не указывает пути, которому следует отдать предпочтение. Они не видят реальных проблем или пытаются решить их без какого-либо специализированного знания. Одним словом, имеются причины, по крайней мере две из которых основательные, для отсутствия интереса физиков к большинству работ по философии науки.

Несостоятельность как операционализма, так и традиционных школ философии физики в деле осуществления ее адекватного философского анализа порождает стремление к построению некоей альтернативной философии физики. Новая философия, в которой нуждается физика, должна быть ее сознанием и ее крыльями, она должна помочь физике в ее самокритике, а также в исследовании новых проблем и методов. Главными ингредиентами этой новой философии физики могли бы быть следующие.

Уравнение движения. Специфическим «входом» в новую философию физики была бы физика в целом, прошлая и настоящая, классическая и квантовая. Соответствующим «выходом» была бы реалистическая оценка (анализ и теория) реальных и оптимальных исследовательских процедур, уже осмысленных или подлежащих осмыслению идей, оценка целей, которых мы добиваемся в настоящее время, и возможных целей в будущем как в теоретической, так и в экспериментальной физике.

Связи. Новая философия физики должна идти в ногу не только с прогрессом в области физики, но также и с прогрессом в области точной философии, в частности в логике и семантике.

Граничные условия. Новая философия физики должна максимально использовать философскую традицию, критически ассимилируя ее.

Новая философия физики находится в процессе становления. Ее примеры будут даны в различных местах нашей книги. Пока же перечислим те проблемы, которые исследуются в духе новой философии. Это позволит лучше показать ее жизнеспособность и соответствие актуальным физическим исследованиям, чем простое перечисление авторов и их работ. Здесь они приводятся в полном беспорядке:

— Равнозначна ли относительность системы отсчета зависимости от наблюдателя и, следовательно, субъективности?

— Обеспечивает ли инвариантность преобразований координат как значение, так и объективность?

— Действительно ли квантовые события нельзя осмыслить без введения наблюдателя?

— Касается ли квантовая теория автономных физических объектов или же неразложимых далее «блоков», составленных из сплава микрообъект — измерительный прибор — наблюдатель?

— Существуют ли в физических теориях строго наблюдательные понятия?

— Как можно наблюдать так называемые «наблюдаемые» квантовой теории и общей теории относительности?

— Какова цель физической теории: систематизация данных, вычисление предсказаний, направление дальнейших исследований и (или) объяснение фактов?

— Верно ли, что ничего нельзя объяснить, не обращаясь к обычным образам или наглядным моделям, и что в результате этого квантовая механика и общая теория относительности не имеют никакой объяснительной силы?

— Можно ли экспериментировать, не прибегая к помощи теории, и собирать таким образом данные, целиком свободные от теории?

— В чем состоит физическое значение символа?

Множество других проблем современной философии физики могут быть почерпнуты из литературы, в частности из журналов «Философия науки» («Philosophy of Science»), «Британский журнал по философии науки» («British Journal for the Philosophy of Science»), «Синтез» («Synthese») и «Основания физики» («Foundations of Physics»). Тем не менее такое обилие вопросов (не говоря уже об ответах) еще не доказывает научной пригодности философии физики, даже если она свободна от недостатков операционализма и традиционной школьной философии.

9. Функция философии

Философия физики, так же как философия биологии и философия психологии, является составной частью философии науки. Философия науки в свою очередь представляет собой отрасль философии, другими областями которой являются логика, общая эпистемология, метафизика, теория ценностей и этика. Мы уже видели, что ошибочная философия может препятствовать правильному пониманию физической теории и эксперимента. Она способна даже задержать прогресс в исследованиях, объявляя целые исследовательские программы несовместимыми с нею или поощряя поверхностные или даже бесплодные планы. Может ли философия функционировать иначе? Может ли она осуществлять какие-либо позитивные функции? Конечно, может, и иногда она делает это. Исторических примеров достаточно, но мы не будем обращаться к ним, ибо декларация принятия

той или иной философии еще не доказывает следования ей на практике. Нас интересуют те функции философии, которые концептуально возможны.

Философия физики может выполнять по крайней мере четыре полезные функции, которые можно назвать философской ассимиляцией, планированием исследований, качественным контролем и «домашней уборкой». Рассмотрим их более подробно.

(i) *Философская ассимиляция физики* состоит в обогащении философии творческими идеями и методами, разработанными в физике. Путем анализа непосредственной работы физиков — экспериментаторов и теоретиков — эпистемолог может сформулировать общие гипотезы относительно природы человеческого познания. Путем критического рассмотрения фундаментальных физических теорий метафизик может создать общие теории о природе вещей. Короче говоря, философия физики способна сделать вклад (что она фактически часто и делала) в распространение, расширение или даже возрождение философии.

(ii) *Планирование исследований* всегда производится в соответствии с теми или иными философскими соображениями. Если ведущий принцип (верный или неверный) близок к эмпирической философии, то исследование будет ограничено собиранием данных и феноменологическими теориями или теориями типа черного ящика, охватывающими эти данные, но не объясняющими их. С другой стороны, если философские соображения выходят за рамки эмпирической философии, то не будет накладываться никаких ограничений ни на глубину теории, ни на зависимость экспериментов от теорий. В этом случае поиски смелых теорий и новых видов данных поощряются, а не осуждаются. Бюджет служит лишь одним из элементов, который должен быть рассмотрен при программировании исследования. Поскольку философия формирует саму цель исследования, она оказывается более важным элементом, чем бюджет, так как отчасти будет определять и бюджетную сторону. Если цель планирования состоит в приумножении данных, то для этого потребуются все возрастающее количество инструментов и более мощных вычислительных машин. Если же цель заключается в поиске новых законов, создании и про-

верке смелых теорий, то для этого необходимо иметь как можно больше искусных экспериментаторов и теоретиков.

(iii) *Качественный контроль* исследования состоит в проверке и определении как ценности, так и значения экспериментальных и теоретических результатов. Надежны ли данные? Какова их ценность для проверки теорий или для постановки вопросов, ответы на которые потребуют создания новых теорий? Имеют ли теории какую-либо ценность? Ответ на подобные вопросы включает философские предположения о природе истины, взаимоотношении опыта и разума, структуре научных теорий и так далее. Можно указать различные критерии, предлагаемые для оценки теории с точки зрения ее истинности. Для одних критерием истинности является простота, для других — красота, для большинства — строгое подтверждение эмпирическими данными, для многих — технологическое применение и так далее.

(iv) Под *«домашней уборкой»* я подразумеваю никогда не заканчивающийся процесс прояснения содержания идей и процедур. Несомненно, формулировка новых физических понятий, гипотез, теорий и процедур является задачей физиков-профессионалов. Но находящийся в их ведении процесс поиска и критического исследования требует определенной логической, эпистемологической и методологической строгости. А чтобы провести ее в жизнь и доказать ее ценность, требуется некоторая терпимость, которой может научить только хорошая философия.

Планирование исследований, качественный контроль конечных результатов, и «домашняя уборка» включают в таком случае определенную философию. Физик, принимающийся за решение этих задач, становится на некоторое время философом.

10. Роль философии в подготовке физика

Любой физик, пытающийся уяснить смысл своей собственной работы, обязательно сталкивается с философией, хотя и не всегда осознает это. Понимание этого факта открывает перед ним две возможности. Одна из них состоит просто в том, чтобы попробовать уклониться от выбора, а по существу смириться с господствующей

философией — популярной, но грубоватой и даже отсталой. Другая возможность заключается в том, чтобы получить адекватные знания о некоторых современных исследованиях в философии физики, проверяя их критически и пытаясь поставить их на службу своей научной работе.

Физик, не скованный устаревшей философией, склонен рассматривать философию как возможное поле точного исследования и многого ожидает от такого подхода. Чтение философских работ может подсказать ему новые идеи. Изучение логики повысит его требования к научной ясности и строгости. Привычка к семантическому анализу поможет ему выявить подлинные референты его теорий. Близость к профессиональным скептикам предохранит его от догматизма. Знакомство с огромным числом нерешенных проблем и великими философскими системами вдохновит его к работе над долговременными исследовательскими программами вместо скачков от одной модной маленькой проблемы к другой. Осознание методологического единства всех отраслей физики и других наук предохранит его от сверхспециализации — главной причины безработицы и кризиса профессии, имевших место во время написания данной книги. Кроме всего прочего, шепотка философии усилит веру теоретиков и экспериментаторов в силу идей и необходимость критики.

Одним словом, философия всегда с нами. Значит самое меньшее, что мы должны сделать, — это познакомиться с ней.

Глава 2

Основания: ясность и последовательность

Большинство физиков не тратит время на анализ тех понятий, гипотез, теорий и правил, которые они создают или применяют, они слишком заняты их построением и использованием. Это и к лучшему. Было бы чересчур педантичным и едва ли целесообразным заставлять каждого исследователя, работающего, например, в области физики элементарных частиц, давать исчерпывающий анализ именно понятия элементарной частицы. Но это не означает, что концептуальный анализ не имеет ценности для физики. Напротив, он имеет важное значение, но в его услугах нуждается не каждый. Точно так же только фанатик стал бы запрещать концептуальный анализ как законное занятие некоторых физиков. В конце концов кто-то должен анализировать и даже усовершенствовать то, что создают другие. Современная физика охватывает все виды деятельности от экспериментаторов различных направлений до теоретиков всех сортов. Каждый вид деятельности необходим, чтобы исследовать природу и понимать ее.

Свой вклад в достижение той же цели вносят и те, в чьи намерения не входит открытие физических законов. Это конструкторы и изготовители инструментов, а также представители математической физики. Первые имеют дело скорее с *артефизикой*, а не с *физикой*. Математические физики сосредоточивают свое внимание на математических проблемах, которые ставит перед ними развитие физических теорий. И никто не смотрит на них свысока, как на людей, занятых якобы ненужным делом. Ученый, занимающийся анализом физики, находится в

подобном же положении. Хотя он и не рассчитывает на открытия в области физической реальности, он может помочь раскрыть сущность физики в общем и целом, анализируя, а тем самым и разъясняя некоторые основные понятия, гипотезы, теории и процедуры физической науки. Его помощь будет еще более ценной, если, кроме анализа физики, он внесет свой вклад в усовершенствование организации или структуры физических теорий, и целых систем физических теорий, то есть если он станет законченным мастером в области оснований физики.

Мало кто из физиков задумывается над проблемой организации физической науки. Большинство удовлетворяется тем, что есть, а некоторые даже выступают против организации какого-либо рода. Математики же, с другой стороны, — решительно за упорядочение структуры алгебры, топологии, анализа и, конечно, математики в целом. Они ясно осознают, что забота о структуре науки облегчает ее развитие, раскрывая отношения, логические пропуски и недостатки, которые не видны, когда внимание концентрируется на одном каком-то вопросе. Так, в течение нашего столетия алгебра уже трижды была подвергнута полной перестройке, коснувшейся прежде всего организации ее материала, что в результате привело к ее обогащению: вначале с помощью аксиоматизации, позднее с помощью логики и, наконец, совсем недавно путем категоризации (формулировки с помощью теории категорий). Эти три революции принесли алгебре не только единство, но также и большую глубину и кругозор. Математический анализ подобным же образом был трижды революционизирован в течение последней сотни лет. Сначала это было сделано путем арифметизации, затем с помощью теории множеств и, наконец, топологии, не говоря уже о четвертой современной революции, а именно категоризации математического анализа. При использовании для организации разных областей математики новых основных понятий (подобно понятиям множества, структуры и функтора) математика подвергалась как внутренней, так и всеобщей перестройке. Первая касается одной-единственной теории, последняя — целых семейств (категорий) теорий. Почему физики должны считать ниже своего достоинства работу над подобным проектом перестройки теоретической физики? Почему порядок должен утрачивать, а не ободрять?

В общем, имеется множество вопросов, связанных с анализом и организацией теоретической физики. Одни из этих вопросов философские, другие технические, ответить на которые можно только с помощью таких средств, как логика, математика и аксиоматика, и маловероятно, чтобы они привлекли внимание основной массы философов, как столь же маловероятно, чтобы они отвлекли внимание большинства физиков. Эти вопросы касаются оснований физики. Перейдем к рассмотрению некоторых из них.

1. Некоторые современные проблемы в основаниях физики

Здесь будут перечислены проблемы, которые в настоящее время привлекают внимание ряда исследователей, работающих в области оснований физики. Проблемы эти можно обнаружить на страницах не только философских, но и физических журналов, таких, как «Журнал математической физики» («Journal of Mathematical Physics»), «Прогресс теоретической физики» («Progress of Theoretical Physics»), «Обзоры современной физики» («Reviews of Modern Physics»), «Международный журнал теоретической физики» («International Journal of Theoretical Physics»), «Американский журнал физики» («American Journal of Physics») и «Основания физики» («Foundations of Physics»). Проблемы эти следующие:

— В какой момент развития теории, содержащей пространственно-временные понятия, необходимо введение координат? Или: насколько далеко мы можем идти в не зависящей от координат (следовательно, автоматически общековариантной) формулировке теории?

— Можем ли мы вывести некоторые из свойств пространства-времени из определенных физических законов? (Не очевидно: уравнения Максвелла в введении метрики не нуждаются.)

— Верно ли, что так называемое направление времени следует усматривать в необратимых процессах и что само время должно быть определено с их помощью?

— В самом ли деле время эквивалентно пространственному измерению?

— Имеются ли, и если да, то какие, пределы пространственно-временной локализации?

— Изучает ли квантовая механика индивидуальные микросистемы или только статистические ансамбли, или же пару ансамбль+прибор?

— Как следует интерпретировать вероятности, встречающиеся в физических теориях, — как степень нашей уверенности, относящейся к рассматриваемой физической системе, как относительную частоту измеряемых величин или как тенденции (предрасположения)?

— Как мы должны интерпретировать дисперсии, встречающиеся в так называемых соотношениях неопределенностей (*indeterminacy relations*), — как неточности (*uncertainties*), как стандартные отклонения множества результатов измерений, как объективные неопределенности или, возможно, как-то иначе?

— Можно ли объяснить случайность любой стохастической теории путем дедуктивного вывода из более глубокой детерминистической теории?

— Можно ли вывести (*retrieve*) квантовую теорию из какой-либо классической стохастической теории?

— Требуется ли квантовая механика своей собственной логики, то есть логики, исключающей конъюнкцию предложений относительно точных значений сопряженных динамических переменных?

— Составляет ли принцип соответствия какую-либо неотъемлемую часть квантовой теории, или же он является правилом, относящимся к ее эвристическим строительным лесам?

— Принадлежат ли принципы ковариантности и симметрии (вроде СРТ-теоремы) к аксиомам теории? И относятся ли они к физическим системам?

— Можно ли дать независимую от наблюдателя формулировку квантовой механики и квантовой электродинамики?

— Можно ли логически вывести механику сплошных сред и термодинамику из механики материальной точки?

— Каковы соотношения между различными теориями в современной физике?

— Состоит ли квантово-механическое объяснение таких свойств, как показатель преломления или электрическая проводимость, в сведении макроуровня к микроуровню?

— Являются ли физические величины чем-то большим, нежели функциями определенного рода? И каково различие, если оно существует, между физической величиной, константой определенной размерности и масштабным множителем?

— Что представляют собой те алгебры размерностей и единиц, которые лежат в основе правил оперирования ими?

— Каковы отношения между единицами и стандартами? Верно ли, что единицы являются конвенциональными, так же как и стандарты?

Этот краткий перечень проблем можно было бы использовать в качестве анкеты для определения отношения к основаниям физики. По мнению автора, все они представляют интерес и некоторые из них могут быть темой для докторских диссертаций по философии физики. Но, видимо, многие относятся к ним как к скучным или тривиальным вопросам, или даже как не имеющим отношения к физике. Но в таком случае многие другие отрасли испытают ту же самую судьбу. Так, один из моих учителей считал учение о магнетизме очень скучным предметом, а я сознаюсь в неспособности заставить себя заниматься классической акустикой. *De gustibus non est disputandum* («о вкусах не спорят»). Вопрос состоит в том, имеются ли нерешенные проблемы в данной области и поможет ли их решение изменить что-либо в нашем понимании природы и овладении ею. Что касается оснований физики, об этом мы не будем знать ничего определенного, если не предоставим никаких возможностей для изучения этих проблем.

2. Поиски порядка и убедительности

Основаниям физики приписываются две главные миссии: повышение ясности физических идей и совершенствование их структурной организации. Я бы согласился с тем, что первую задачу лучше выполнять через вторую. Вернемся, в таком случае, к вопросу о структуре.

Порядок и убедительность имеют не только эстетическое значение. Чем лучше организован каркас идей, тем легче понять его и удержать в памяти (психологическое преимущество) и тем лучше он поддается оценке, кри-

тике и, возможно, замене его иной системой идей. По этим причинам математики еще со времени Евклида придавали важное значение аксиоматической формулировке своих теорий. Это не просто вопрос вкуса и не педагогический вопрос, это вопрос методологии. Аксиоматика имеет научную ценность, потому что она ясно передает все реально используемые предположения и тем самым делает возможным сохранять контроль над ними.

Все, что имеет силу для чистой математики, верно и в отношении аксиоматики для любого ее применения от физики — через социальные науки — до философии. Вне аксиоматических систем остается мало надежд на установление порядка, убедительности и даже на уместность тех или иных понятий и формул. Ибо аксиоматика, кроме внесения порядка и возможности установить противоречивость, позволяет иногда выявить несообразность даже целых формул, которые считаются глубоко фундаментальными, или теорем, и именно потому, что они не имеют смысла в данном контексте. Три примера из современной физики будут достаточны, чтобы показать, как небольшая степень аксиоматизации может помочь выявить самозванцев, которые не выполняют никаких функций — ни вычислительных, ни измерительных — и держатся исключительно силой авторитета.

Нашим первым примером будет псевдопонятие массы фотона. Когда какой-нибудь энтузиаст формулы $E^2/c^2 = m_0c^2 + p^2$ говорит о массе фотона, можно напомнить ему, что это пустой предикат, поскольку он отсутствует среди основных понятий электромагнитной теории. Приведенная же выше формула относится к релятивистской механике частиц, а чистая механика не годится для объяснения фотонов. Более того, эта формула является консеквентом импликации, антецедентом которой является утверждение: «частица обладает массой m , импульсом p и энергией E ». Обратное условное предложение ошибочно: не каждой энергии может быть приписана масса и механический импульс $p = mv$. Следовательно, неверно говорить об универсальной эквивалентности или взаимопревращаемости массы и энергии.

Второй пример. Когда теоретики и даже экспериментаторы проводят различие между инерционной и гравитационной массами (однако сразу же после этого при-

равнивая их), можно заметить, что нам не известно, чтобы была предложена теория, в которой встречались бы различные понятия массы (покоя)¹. Если такое различие подразумевается, тогда оно должно быть сформулировано аксиоматическим образом. Каждое понятие массы должно быть охарактеризовано одной или более аксиомами, а не только псевдофилософскими или эвристическими ремарками.

Если же такое различие не произведено, то они не являются разными понятиями в данное время.

Наш третий и последний пример несколько более сложен. Это так называемое четвертое соотношение неопределенностей. В своей последней дискуссии с Эйнштейном по эпистемологическим вопросам атомной физики Нильс Бор² утверждал, что время и энергия удовлетворяют соотношению «неточностей», подобному соотношению Гейзенберга. Точнее говоря, он утверждал на чисто эвристических основаниях, что средние стандартные отклонения времени $\Delta_{\psi}t$ и энергии $\Delta_{\psi}E$ для квантово-механической системы в состоянии ψ соотносятся следующим образом:

$$\Delta_{\psi}t \cdot \Delta_{\psi}E \geq \hbar/2.$$

В отличие от соотношений неопределенностей данную формулу никак нельзя доказать. Если бы Эйнштейн осознал это, его ответ был бы более весомым и дискуссия в целом не рассматривалась бы почти всеми как выигранная Бором.

Причина неудачи введения указанной формулы в квантовую механику состоит в следующем. В этой теории, как и любой другой, известной и успешно применявшейся, время есть некоторое «с-число», иначе говоря, некоторый параметр определенной группы преобразований. Оно не служит динамической переменной наравне с операторами положения и импульса. Более того, в отличие от последнего t не «принадлежит» (не относится к) частной рассматриваемой системе, а является об-

¹ M. Bunge, *Foundations of Physics*, Springer Verlag, New York, 1967.

² См.: Н. Бор, *Дискуссии с Эйнштейном по проблемам теории познания в атомной физике*, «Избранные научные труды», т. II, М., «Наука», 1971, стр. 349—433.

щим (по крайней мере локально). Даже в релятивистской теории собственное время, хотя и относительное в данной системе отсчета, не является свойством системы в той же степени, как ее масса или спин. Иными словами, t не принадлежит к семейству операторов в гильбертовом пространстве, ассоциируемом с каждой парой: микросистема — ее окружение. Поэтому t не является случайной переменной, с ней не ассоциируется никакое распределение вероятностей. Следовательно, ее разброс исчезает идентично

$$\Delta_{\psi} t = 0 \quad \text{для каждого } \psi$$

(к тому же разброс по энергии исчезает, когда система случайно находится в собственном состоянии оператора энергии). В результате вопрос о разбросе по энергии снимается. Неравенство, предложенное Бором и повторенное во многих учебниках, не имеет силы. Оно не относится ни к квантовой теории, ни к релятивистской, ни к нерелятивистской¹. Это было бы осознано намного быстрее, если бы всерьез принимали физическую аксиоматику. Как было отмечено Левин-Леблондом (в личном сообщении), имеет силу только соотношение

$$\delta_{\psi} t_A \cdot \Delta_{\psi} E \geq \hbar/2, \quad \text{при } \delta_{\psi} t_A = \Delta_{\psi} A / |\langle A \rangle_{\psi}|,$$

где A является произвольной динамической переменной системы в состоянии ψ . Этот временной интервал $\delta_{\psi} t_A$ — характеризуемый A и зависящий от состояния ψ — не представляет собой стандартного отклонения от t , которая не является случайной переменной.

3. Специалист по аксиоматике и философ

К сожалению, большинство физиков с недоверием относятся к аксиоматике, отчасти по причине того, что они полагают, будто бы аксиоматизация представляет собой кристаллизацию или окостенение. (Один известный физик сказал как-то автору: «Аксиоматизация бесполезна». Другой пошел еще дальше, убеждая автора: «Мы не

¹ См.: M. Bunge, «Canadian Journal of Physics», 1970, vol. 48, p. 1410.

хотим аксиоматических теорий в физике». В обоих случаях не было выдвинуто никаких оснований: *Magister dixit* — «Так сказал учитель»). Нравится это кому-либо или нет, факт остается фактом, интуитивно сформулированная теория является не столько единственной теорией, сколько множеством теорий, содержащих различные совокупности интуитивных предположений. Именно поэтому любая более или менее аморфная теория может быть аксиоматизирована рядом неэквивалентных способов, то есть путем принятия различных предпосылок (например, различных математических средств) и различных основных гипотез (аксиом). Поскольку аксиоматизация выполняется, постольку становится ясным то, что интуитивно предполагалось. Противники аксиоматизации непреднамеренно борются против ясности и за двусмысленность и непонятность. Кроме того, аксиоматизация теории отнюдь не вынуждает нас принимать ее навсегда. Скорее, наоборот, поскольку аксиоматизация способствует внимательной проверке теории и элиминирует отдельные неясности; которые в ней могут содержаться, она указывает пути к новым теориям, которые можно получить путем изменения некоторых предположений.

Можно возразить, что, даже если принять за доказанное ценность аксиоматики, это еще не означает для нее необходимость философии. Само собой разумеется, хороший теоретик может успешно заниматься аксиоматикой, не будучи знаком с философией, точно так же как в обыденной жизни мало что дает изучение логики. Однако опыт показывает, что имеющиеся в физике аксиоматизированные системы весьма часто плохо сбалансированы. Если одни из них пренебрегают точным определением математического статуса основных понятий, то другие не определяют ясно, что эти понятия означают. Некоторая доля философии позволила бы избежать этих двух крайностей конкретности и формализма, потому что одной из задач философии является исследование природы научных теорий.

Вернемся еще раз к случаю с символом 'E', обсуждавшемуся в первой главе. Математик, настойчиво стремящийся к аксиоматизации теории Максвелла, конечно, не забудет постулировать, что 'E' обозначает вектор поля на некотором дифференцируемом многооб-

разин. Но он, возможно, забудет сказать, что это многообразие должно представлять пространство-время, и, возможно, не позаботится сделать оговорку, что вектор поля относится, по предположению, к реальному полю, распределенному по некоторой области пространства-времени. Он может просто намекнуть, что имел в виду эту интерпретацию, или, если он некритически воспринимает философию операционализма, может сказать, что численные значения 'E' суть просто наименования для выражения 'электрическое поле', с помощью которых он сводит семантическую проблему к проблеме формулирования правил обозначения.

Философ со своей стороны может отметить, что правила обозначения едва ли представляют нечто большее, чем конвенции, посредством которых приписываются наименования, тогда как семантические предположения включают в себя гипотезы относительно существования референтов. Он может также предостеречь против уверенности в том, что какая-либо интерпретация постулата способна исчерпать значение рассматриваемого символа. Он может отметить, что физические понятия определяются математическими и физическими предположениями, и не только основными понятиями, но также и производными. Короче говоря, философ может напомнить аксиоматизатору, что физическими значениями не следует пренебрегать и считать, что они могут быть недвусмысленно фиксированы с помощью одного или двух предложений. В конечном счете философ мог бы оказать помощь в наиболее деликатной, хотя, возможно, и не наиболее творческой, части теоретической деятельности, а именно в области оснований теории.

4. Поиски ясности

Другим аспектом исследования оснований является анализ теорий, в частности их отличительных понятий и утверждений. Этот анализ обычно выполняется интуитивным или полуинтуитивным образом, то есть без предварительной аксиоматизации. Но любой строгий анализ требует, чтобы теория была полной и хорошо упорядоченной, коль скоро рассматриваются ее основания. Абсурдно, например, пытаться найти ответ на вопрос, является ли понятие электрического поля первичным или

производным, вне определенного теоретического контекста. Кроме того, значение символа 'E' может меняться в каждой новой теории. Так, в одной теории E будет относиться к реальному полю, некоторой субстанции, занимающей какую-либо область пространства, в другой теории 'E' будет не более чем вспомогательным символом, и только пондеромоторной силе eE будет приписываться физическое значение. И наконец, в теории дальнего действия E не будет встречаться вообще.

Здесь философ также может оказать помощь. Например, если физик упорно отказывается приписывать символу 'E' физическое значение в какой-то теории поля, философ может настоять, чтобы он объяснил причину этого упорства. Если физик утверждает, что E нельзя измерить непосредственным образом и что свободные поля не могут быть измерены, поскольку само присутствие измерительного прибора нарушает вакуум, то философ может возразить, что подобные критические замечания, если их распространить на все другие теоретические понятия, лишили бы их значения. Во всяком случае, поскольку физик, который анализирует физическую теорию, использует философские понятия теории, формы, содержания, истины и многого другого, постольку он может ожидать со стороны философа как критики, так и помощи.

Современная научная философия (математическая логика, семантика, методология и т. д.) уместна здесь как в критическом, так и в конструктивном (или, вернее, реконструктивном) аспектах исследований оснований физики. Одной философии, конечно, недостаточно. В первую очередь следует хорошо владеть самим предметом. Однако физик без философской подготовки ненамного лучше чистого философа, приступающего к исследованию оснований науки. Так, для того чтобы выяснить, является ли масса производным понятием в механике, знание последней необходимо, но недостаточно. Проверка независимости понятия требует определенной метаматематической техники и в настоящее время этот вопрос относится к теории теорий¹. Любые усилия дать свободное от контекста (то есть независимое от теории) логическое определение понятия простой системы (например, элементар-

¹ См.: P. Suppes, Set-Theoretical Structures in Science, Institute for Mathematical Studies in Social Sciences, Stanford University, 1967.

ной частицы) непременно обречены на неудачу. Только в рамках некоторой теории понятие сложной системы может быть определено с помощью понятий простых систем и отношения композиции или операции. Конечно, эксперимент может опровергнуть утверждение, что рассматриваемая система является простой и, следовательно, неразложимой. В этом случае теорию в целом следует ограничить более скромной областью (например, областью низких энергий) или даже отказаться от нее вообще. Но суть дела заключается в том, что понятие простой системы, подобно любому другому понятию, может быть логически определено только относительно некоторого теоретического контекста. Если изменяется контекст, то может измениться или даже вообще исчезнуть из поля зрения и само понятие.

Когда две различные дисциплины совместно требуют выполнения определенной работы, сотрудничество становится обязательным. Так же обстоит дело и с основаниями физики. Физик, который не желает достижения такого сотрудничества и упорно избегает знакомства с точной философией, должен смириться с тем, что для него будут недоступны некоторые проблемы оснований физики, и ему останется только подсчитывать те ошибки, которых он легко мог бы избежать, обладай он хотя бы незначительными знаниями в области философии. Обычными примерами таких ошибок, вытекающих из недостаточного знания философии, являются: убежденность в том, что масса и энергия тождественны только потому, что связаны между собой известным соотношением; уверенность в том, что применение вероятностных методов всегда указывает на неполноту знания; убежденность в том, что стохастические теории обнаруживают банкротство детерминизма; уверенность в том, что все неслучайное должно быть каузальным; убеждение в том, что каждая теоретическая величина (например, собственное значение квантово-механической динамической переменной) является измеримой величиной, и сотни других, которые некритически повторяются.

Точный анализ физической теории может быть выполнен только после того, как она будет сформулирована полным и последовательным образом, то есть после того, как она будет аксиоматизирована. При отсутствии подобной реконструкции при попытке разобраться в клубке

формул можно рассчитывать только на интуицию. Но еще хуже, когда из теории, построенной непоследовательно, стремятся вырвать отдельные формулы, например формулу де Бройля или Гейзенберга, забывая, откуда они получились, а следовательно, и каково их значение. Так, даже несмотря на то, что формулы преобразований Лоренца были выведены без предположений о каких-либо измерительных инструментах, они обычно интерпретируются как имеющие отношение к результатам измерений. И хотя формулы рассеяния точно так же были выведены Гейзенбергом без каких-либо предположений об измерениях, очень часто утверждают: а) что они были получены в результате анализа некоторых мысленных экспериментов, б) что в них соотносятся ошибки измерений или даже субъективные неточности, относящиеся к точному динамическому состоянию объекта.

Только когда обе рассматриваемые теории — специальная теория относительности и квантовая механика — были аксиоматизированы и тем самым приобрели убедительность, стало понятно, что эти теории говорят не об измерениях и что они не имеют никакого отношения к наблюдателям и их психическим состояниям. Стало ясно, что первая теория относится к автономно существующим физическим системам, которые могут быть связаны электромагнитными волнами. А квантовая механика говорит о микросистемах, на которые в конечном счете воздействуют макросистемы, также являющиеся физическими объектами, а не наблюдателями. Поэтому физические величины, вычисляемые в обеих теориях, должны иметь строго объективные значения. Но если дело обстоит таким образом в отношении этих двух теорий, которые, как утверждали, возвращают субъекта или наблюдателя обратно в картину мира, то мы можем быть уверены в том, что вся современная физика точно также связана с внешним миром, как и во времена Галилея.

В хорошо построенной теории каждый возможный референт (тело, поле или квантово-механическая система) упоминается вначале. Он содержится в списке основных, или неопределяемых, понятий. В подобной ситуации введение в рассматриваемую физическую систему такого *deus ex machina*, каким является наблюдатель, становится логически невозможным. И только произвольное введение на уровне теорем чуждых элементов, то есть контра-

бандных понятий, которые не встречаются в аксиомах, дает место нефизическим (субъективистским) интерпретациям. Короче говоря, какое бы понятие ни использовалось в теории, оно должно быть введено либо как первичное, либо как логически определяемое с помощью первичных понятий. Поскольку ни наблюдатель ни (несуществующие) приборы общего назначения не являются первичными, или определяемыми понятиями в специальной теории относительности и квантовой механике, постольку они по праву не входят в эти теории. Если надо построить теории измерительных инструментов и измерительных процессов, то они должны быть построены как приложения всех теорий, реально привлекаемых при выполнении рассматриваемых измерений.

В общем, анализ теорий лучше всего вести в аксиоматизированном контексте, так как анализ в открытом контексте обязательно будет несовершенным. Это справедливо и для философского анализа теорий, и для анализа философских тезисов относительно теорий. Лучший путь оценки философских требований к теории (например, утверждение об определенных эпистемологических принципах) состоит в том, чтобы рассматривать теорию в целом, предварительно сняв с нее те довески, которые не являются необходимыми ни для вычислений, ни для применения к реальным ситуациям. Это не означает, что основания физики могут быть философски нейтральными и должны быть абсолютно первичными по отношению к философии физики. Это говорит только о том, что должна существовать взаимная корректировка обеих. Основания физики без философии иллюзорны, а философия без оснований физики поверхностна и часто некомпетентна.

5. Место встречи и поле битвы

Основания физики и, в частности, аксиоматическая реконструкция физических теорий являются подходящим полем для сотрудничества физиков-теоретиков, представителей математической физики, прикладной математики, логики и философии физики. Такое сотрудничество обязательно, так как все эти специальности необходимы и сейчас никто, видимо, не сможет овладеть ими полностью, объединив их тем самым в одном лице. Можно на-

деяться, что эта благоприятная возможность не будет упущена.

Но что справедливо для сотрудничества, верно и для полемики.

Когда дело касается расхождений по философским проблемам и вопросам методологии, основания физики часто становятся подходящим полем битвы. Я склонен думать, что нет лучшего пути урегулирования вопроса о соответствии данной физической теории определенному философскому тезису, чем аксиоматизация теории и проверка того, содержится ли фактически этот тезис в теории явным образом или в виде предположения. Несомненно, этот метод лучше риторики и ссылок на авторитеты. Жаль только, что он применяется так редко и что большинство из нас предпочитает обсуждать фундаментальные вопросы в той же самой ненаучной и нефилософской манере, в какой мы дебатировем идеологические или политические вопросы.

Таковы характерные черты философского подхода к физической теории и подхода с точки зрения оснований физики. Перейдем теперь к структурному, семантическому и методологическому аспектам физической теории.

**Физическая теория
— общий обзор**

Поскольку главной задачей как оснований, так и философии физики является анализ и перестройка физических теорий, следовало бы начать с характеристики физической теории в самых общих терминах. На первый взгляд эта задача не представляет особого труда. В самом деле, в физической теории нет ничего, кроме математического формализма, снабженного физической интерпретацией и способного к сосуществованию с другими теориями и могущего быть проверенным экспериментом. Это выглядит красиво и звучит довольно просто, однако в действительности является сложным делом. Рассмотрим следующие вопросы, ответить на которые с помощью вышеприведенного определения оказывается весьма трудно.

— Что представляют собой предположения и теоремы данной физической теории, если она принимается за доказанную, — это просто математические теоремы или что-то еще?

— Единственным ли образом определяют формализм физической теории ключевые формулы, которые мы хотим систематизировать, или существуют альтернативы, и если дело обстоит именно так, то эквивалентны ли они во всех отношениях?

— Что имеют в виду, когда говорят о физической интерпретации, — наглядную модель, механическую аналогию, ссылку на лабораторные операции или на внешние объекты или что-то еще?

— Что имеют в виду, когда говорят о сосуществовании теорий? Просто ли это их логическая совместимость

или также частичное перекрывание и, следовательно, взаимная помощь и проверка?

— Как следует истолковать выражение «экспериментальная проверяемость»: как относящееся к каждой формуле, содержащейся в теории, и ко всей сфере действия каждой формулы, как возможность ее противоречия с эмпирическими данными, как возможность подтверждения ее вычислениями или как-то иначе?

Это лишь некоторые из множества вопросов, которые ставит перед нами само понятие физической теории. Глубина и острота каждого из них таковы, что на многие нельзя ответить иначе, как полновесной статьей или даже целой книгой. Все это подтверждает общее правило: *что является очевидным для практика науки, может быть проблематичным для ее философа*. Поскольку мы не можем заниматься каждой возможной проблемой оснований физики и каждой философской проблемой, связанной с физическими теориями вообще, мы выберем для рассмотрения только некоторые из них. Чтобы предвосхитить бесконечные ошибки в понимании, начнем с фиксации терминологии и расчистки почвы для будущих глав.

1. Некоторые ключевые термины

В современных философских, математических и естественнонаучных языках под *теорией* понимается не просто случайное мнение, а гипотетико-дедуктивная система, то есть множество формул, порождаемых с помощью логики и математики группой начальных предположений. В силу общности некоторых из этих начальных предположений, а также возможностей для преобразования, которые предоставляются логикой и математикой, каждая теория представляет собой некоторое бесконечное множество формул. Эта мысль касается всех возможных ситуаций, охватываемых универсальным законом, даже таким простым, как закон Архимеда о рычаге, и всех выводов из любой данной функции, встречающейся в теории. Уже на этом основании, то есть потому, что каждая теория бесконечно богата, не может быть и речи об ее окончательном доказательстве. Поэтому лучшее, что мы можем сделать, так это подтвердить теорию в возможно большем числе случаев или опровер-

гнуть ее в некоторых критических пунктах. Однако от опасности опровержения часто ограждаются не только тем, что отказываются признавать неблагоприятные свидетельства, но и также подгонкой некоторых компонент теории, особенно значений, приписываемых определенным параметрам. Мы еще коснемся этого вопроса в главе 10.

Некоторые из первоначальных предположений физической теории именуется *гипотезами* (в эпистемологическом, а не логическом смысле). Гипотезы, будь то частные или общие, идут дальше простого описания наблюдаемых ситуаций. Они представляют собой предположения о реальной действительности независимо от того, наблюдаемы ли, хотя бы частично, эти ситуации или нет. Так, имеется гипотеза механики о том, что тела существуют, другая о том, что масса сохраняется, третья о том, что напряжение тела может быть представлено вещественным и ограниченным тензорным полем. Некоторые из этих гипотез, входящих явным или неявным образом в физическую теорию, являются чисто математическими по своей природе в том смысле, что они обуславливают математические характеристики рассматриваемых понятий, например понятие симметрии тензора. Другие имеют более или менее непосредственное физическое содержание в том смысле, что касаются свойств реальных систем или систем, о которых предполагают, что они реально существуют.

Наиболее важными среди физических гипотез любой теории являются, конечно, законы. Утверждение о законе имеет цель сказать что-либо об объективных структурах или моделях существования и изменения физических систем. Оно не передает информации о частных ситуациях и не говорит нам, как выглядит мир для некоторого наблюдателя. Формулировка закона предполагается универсальной и не зависимой от наблюдателя. Уравнения движения, полевые уравнения, уравнения композиции (*constitutive equations*) и уравнения состояний квалифицируются как законы лишь в той степени, в какой они принадлежат к достаточно подтвержденным теориям. Дальнейшие физические гипотезы служат *вспомогательными гипотезами*, такими, как начальные условия, граничные условия и ограничения степеней свободы.

Предполагается, что всякая физическая гипотеза может быть сформулирована математически. Но одна

только математическая форма ничего не скажет нам о физическом значении формулы. Так, формула " $E_n = -k/n^2$ " может что-то обозначать. О формуле, не имеющей фиксированного физического значения, можно сказать, что она семантически неопределенна, то есть не определена относительно своего значения. Она станет семантически определенной после ее дополнения внешними предположениями (обычно интуитивно подразумеваемыми) относительно некоторых символов, включенных в нее. Так, в нашем начальном примере E_n могло стать значением для энергии водородоподобного атома на n -ном уровне. В ином контексте тот же самый типографский знак «потребовал» бы (то есть ему было бы приписано) другого физического значения. Такие дополнительные предположения, обрисовывающие контуры физического значения символов, могут быть названы *семантическими предположениями*.

Данные, то есть утверждения, полученные с помощью наблюдения или эксперимента, составляют еще один вид начальных предположений. Они начальны в том смысле, что их следует предполагать в порядке, обусловленном некоторыми логическими заключениями или теоремами. Конечно, не предполагается, что данные нужно выдумывать, то есть они не являются априорными. Они не могут быть также получены с помощью одного только эксперимента. Скорее, напротив, данные, которые могут войти в физическую теорию, должны быть выражены в терминах теории и получены с помощью инструментов, сконструированных и рассчитанных с помощью ряда теорий. Одним словом, данные не даются, а находятся, и если они соответствуют физической теории, то они «пропитаны» теорией, а не являются непосредственным выражением восприятий или переживаний наблюдателя.

Четвертый вид предпосылок, встречающихся в теории, представляют собой *определения*. Например, плотность энергии электрического поля определяется так:

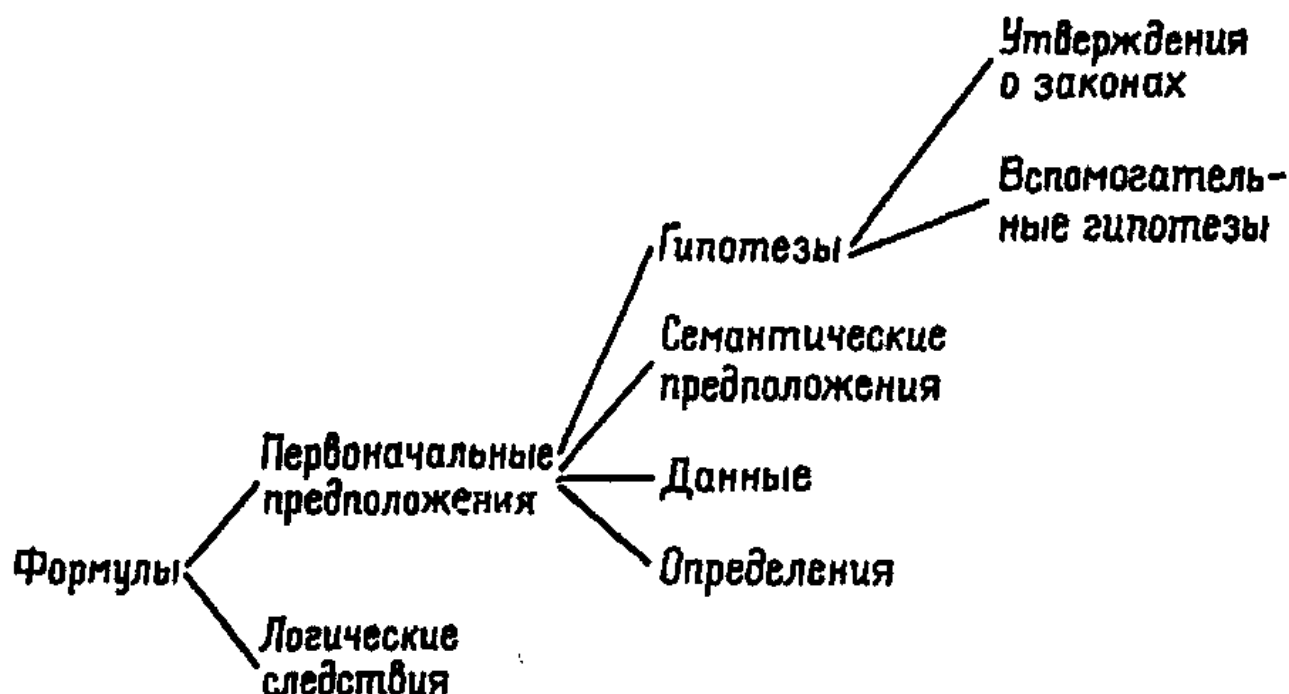
$$\rho_E =_{df} (1/8\pi) E^2$$

С формальной точки зрения любое определение — это только лингвистическая конвенция, то есть правило употребления используемых символов; она ничего не говорит нам о природе. Конвенциональная природа

дефиниций не делает, однако, их произвольными. Вопрос о том, что может быть определено в теории, а что нет, разрешим только в том случае, когда теория перестроена аксиоматически. И выбор способа определения понятий (неопределяемых, основных, или первичных) должен направляться такими критериями, как его общность и плодотворность.

Отметим различие между определениями и гипотезами, в частности утверждениями о законах. В то время как первые являются понятиями, описывающими отношения внутри теории, последние соотносят утверждения с реальностью. Следовательно, если определения могут быть подвергнуты только концептуальной критике, то утверждения о законах живут в соответствии с принципами экспериментальной проверки. Однако это элементарное различие часто забывается. Например, причина неудачи известной попытки Маха перестроить классическую механику может быть объяснена, хотя бы отчасти тем, что он не проводил различие между гипотезами (подобно ньютонову закону движения) и определениями¹.

Итак, мы имеем следующие виды формул, которые должны содержаться в любой физической теории:



Любая физическая формула, каков бы ни был ее статус, является *утверждением*, выраженным с помощью

¹ См.: M. Bunge, «American Journal of Physics», vol. 34, 1966, p. 585.

предложения, принадлежащего к некоторому языку. (Предложения — суть лингвистические объекты. Утверждения — концептуальные объекты. Одно и то же утверждение часто может быть выражено совершенно различными предложениями.) Любое утверждение трактуется в целях логического удобства, как если бы оно было только истинно или ложно. Что же касается его соответствия факту, то мы можем и не знать, каким будет истинное значение утверждения. Иногда мы даем ему низкую оценку, но не минимальную, иногда — высокую, но не максимальную. Утверждения (или предложения) подчиняются своему собственному пропозициональному исчислению или исчислению высказываний и с более общей точки зрения исчислению предикатов. Это исчисление систематизирует правила дедуктивного вывода, такие, как $Pa \vdash (\exists x)Px$, которые можно прочитать следующим образом. Если данный индивид a обладает свойством P , то отсюда следует, что существует по крайней мере один индивид, который обнаруживает это же свойство. Заметим, что P является искусственным, оно символизирует любое свойство, будь то физическое или нефизическое. Исчисление предикатов является разделом логики — науки, которая предполагается каждой рациональной дисциплиной и которую не может опровергнуть никакой эксперимент. Причина такой отчужденности состоит в том, что логика имеет дело не с миром, а с утверждениями и их преобразованиями совершенно независимо от их содержания. Тем не менее стало модным утверждать, что, подобно тому как общая теория относительности делает необходимыми изменения в геометрии, квантовая физика подчиняется своей собственной логике. Это ошибка. Все квантовые теории используют обычную математику, в которую «встроена» обычная логика. Один из источников этой ошибки состоит в буквальном понимании формальной аналогии между предложениями и проекционными операторами¹. Независимо от того, какой алгебре подчиняется семейство операторов, утверждения в алгебраической теории подчиняются обычной логике; оператор есть понятие, а не утверждение.

¹ См.: И. фон Нейман, Математические основы квантовой механики, М., 1964.

Как грамматические предложения можно разложить на слова, так и утверждения можно анализировать до уровня понятий. Понятия, встречающиеся в физике, являются либо формальными, либо фактуальными. *Формальные* понятия — все те, которые заимствованы из логики и математики. *Фактуальные* понятия физики специфичны для нее. Они фактуальны в том смысле, что касаются реальных или предполагаемых фактов. Фактуальное понятие не обязательно должно быть эмпирическим, то есть оно не обязательно должно иметь отношение к наблюдательной, или экспериментальной, ситуации. Более того, чтобы его квалифицировали как физическое, понятие не должно вращаться вокруг наблюдателя, оно должно касаться возможной физической системы, ситуации или события (подробнее об этом см. в гл. 4).

Приводимая таблица (см. стр. 58) иллюстрирует ряд понятий, которые были рассмотрены нами в этом параграфе.

2. Математическая компонента

Роль математики в современной науке двойственная: формирование понятий и вычисления. Нет понятия мгновенной скорости без понятия производной, нет закона движения без дифференциальных или операторных уравнений. Математические понятия — это не только удобные вспомогательные средства, они представляют собой самую суть физических идей. И простейшее предсказание будущего состояния системы или вероятности свершения того или иного события было бы невозможным без дедуктивной силы внутренне присущей формализму теории. Эта дедуктивная сила настолько впечатляюща, что мы часто стремимся приравнивать теоретическую физику вычислениям, забывая о роли математики в самом формировании физических понятий, формул и теорий.

Вычислительные средства, хотя они и необходимы, не являются физическими теориями. Они даже не представляют собой независимые математические формализмы. Любой метод расчета (например, диагонализация матриц) есть часть математической теории, которая может (но не обязательно) быть частью формализма физической теории. Сами по себе математические теории

Теория: электромагнитная теория Максвелла для свободного пространства

Формальные понятия, включенные скрыто или явно в физическую гипотезу: дифференцируемое многообразие, векторные и псевдовекторные функции на этом многообразии, частные производные, векторное произведение.

Основные (неопределяемые) физические понятия, включаемые в гипотезу: физическое пространство, время, E , B , c .

Определяемые физические понятия: $\nabla \times E$, $\partial B/\partial t$.

Операциональные определения: нет.

Гипотеза: закон Фарадея для электромагнитной индукции в его дифференциальной версии

$$\nabla \times E = - (1/c) \partial B/\partial t.$$

Вспомогательное предположение: E и B уменьшаются с расстоянием по крайней мере как $1/r$.

Семантическое предположение: E представляет напряженность электрического поля, B —магнитную индукцию, а c —скорость света в вакууме.

Данные: нет.

нейтральны по отношению к каким-либо гипотезам о реальном мире. Рассмотрим теорию канонических преобразований, которую когда-то считали ядром квантовой механики. Как в своей классической, так и в квантовой форме она не представляет самостоятельной физической теории, отображающей некоторый аспект мира. Это математический метод для решения уравнений движения (Гамильтона, Шредингера и т. д.) и для соотнесения друг с другом решений, получаемых в различных представлениях. В целом задача данной теории состоит в упрощении формулирования проблемы, а следовательно, в упрощении ее решения, сохраняя в то же время уравнения движения и определенные инварианты. Данная теория может найти применение безотносительно к физическому содержанию уравнений.

Таким же образом в ряде областей может найти применение теория возмущений, для чего необходимо наличие определенного уравнения, к которому могут быть применены теории возмущений. То есть эти теории не несут никакого физического значения, они служат полезными математическими средствами для достижения цели, которая представляет собой приблизительное решение определенного уравнения, возможно имеющего какое-то физическое значение. Одному или двум членам разложения в ряд, согласно теории возмущений, может быть приписано физическое содержание, бесконечно многим членам ряда невозможно дать какую-либо интерпретацию. Значение такой нейтральности методов теории возмущений можно также увидеть при анализе понятия порядка некоторого эффекта. Вопрос: Что означает это выражение, говорит ли оно нам что-нибудь относительно природы? Ответ: Ничего — о природе и только кое-что — о вычислительной технике. Так, эффект четвертого порядка объясняют теоретической моделью, включающей разложение в ряд теории возмущений вплоть до четвертой степени, то есть пренебрегая всеми более высокими степенями (даже если ряд расходится). Тот же эффект может быть объяснен различными теориями, приписывающими ему иной порядок, или вовсе не приписывающими никакого порядка, поскольку удастся найти точное решение. Это верно для разложения любого ряда и каждого разложения любого вектора на его компоненты. В то время как функция в целом может иметь физическое зна-

чение, метод разложения является чисто математическим и может быть изменен в любое время.

Физическое содержание, если таковое имеется, следует усматривать в некоторых понятиях и утверждениях теории, а не в частных *представлениях* (representations) свойств и законов. Например, одна и та же траектория в обычном пространстве может быть записана в любой системе координат. Каждое преобразование координат приводит к новому представлению, не изменяя его физического содержания. Так что единственными разумными ограничениями, налагаемыми на изменения представлений, вызываемые преобразованиями координат, являются следующие: (а) преобразованные переменные должны иметь то же самое значение, что и исходные (например, координаты положения в пространстве, подвергнутые преобразованиям Лоренца, должны оставаться координатами положения, а не временными координатами); (б) преобразованные переменные должны подчиняться тому же самому утверждению о законе, что и исходные. То, что имеет силу для систем координат, справедливо и для систем единиц. Если представление физического свойства с помощью некоторой функции включает выбор единиц, то они являются конвенциональными и, следовательно, изменение в единицах не имеет никакого физического значения.

Отсутствие физического содержания у некоторых компонент физической теории гораздо менее неожиданно, чем возможность приписывания физического значения другим компонентам. Конечно, для нас становится привычной идея о том, что математика лишена физического содержания. Сначала нас учат тому, что непрерывная функция может определяться независимо от времени, позднее нас учат, что геометрия является неопределенной, если на нее не накладывают семантических предположений. Некоторых все еще нужно учить, что арифметика и теория вероятностей одинаково нейтральны, и если хотят найти им применение, их следует дополнить семантическими предположениями. Но вообще говоря, мы должны ясно понять, что математика является автономной дисциплиной, несмотря на то, что многие математические идеи были мотивированы научным исследованием в целом. Тем не менее, несмотря на свою чистоту, математика применяется в физике, или, как имели обыкновение гово-

рить наши предшественники, «математика применима к реальности». Вопрос: Как это возможно? Ответ: В то время как каждый символ, встречающийся в физической теории, имеет математическое значение, некоторым математическим символам приписывается к тому же физическая интерпретация. Так, выражение dx/dt может быть интерпретировано не только как полная производная некоторой функции x , но так же как мгновенная скорость изменения некоторого физического свойства, представляемого x , такого, например, как координата положения, концентрация, энергия, и вообще все что угодно. Таким образом, физическое содержание седлает знак, имеющий математическое значение, и в таком виде оба — лошадь (или осел) и рыцарь — пересекают физическую арену. (Все это, конечно, может быть изложено и в неметафорических терминах. В этом и состоит задача семантики науки¹.)

Физическое понятие отличается от лежащего в его основании математического понятия в двух отношениях: (а) каждое физическое понятие имеет отношение к некоторой физической системе (системам) и (б) каждое физическое понятие входит по крайней мере в один физический закон. Напротив, чисто математические понятия не имеют никаких нематематических референтов и не подчиняются никаким нематематическим законам. Возьмем, например, отношение «тяжелее чем, или столь же тяжелое», или H . С формальной точки зрения H представляет собой не что иное, как некоторое отношение порядка \geq на некотором множестве неопределенных элементов B , то есть $H \subset B \times B$ и $H \in$ множеству отношений порядка. H становится некоторым физическим понятием, когда (а) B интерпретируется как множество тел, и (б) предполагается, что H связано с B , то есть имеет силу для любых двух тел.

Пример с весовой функцией даже более поучителен, так как существует бесконечное множество путей представления физического свойства веса (или любого другого физического свойства), а именно посредством системы единиц. Вес тела $b \in B$ в гравитационном поле $g \in G$

¹ M. Bunge, *Method, Model and Matter*, D. Reidel Publ. Co. Dordrecht, 1972. M. Bunge (ed.), *Exact Philosophy: Problems, Methods, Goals*. D. Reidel Publ. Co. Dordrecht, 1972.

относительно (физической) системы отсчета $k \in K$, исчисляемый в единицах $u \in U_w$, представляет собой некоторое неотрицательное число w , то есть $W(b, g, k, u) = w$. Вес в общем случае есть сама функция W , а не какое-либо из ее значений. И эта функция отображает множество $B \times G \times K \times U_w$ всех четверок $\langle b, g, k, u \rangle$ с $b \in B$, $g \in G$, $k \in K$, $u \in U_w$ (множеством весовых единиц) на множество R^+ или множество неотрицательных чисел:

$$W : B \times G \times K \times U_w \rightarrow R^+.$$

Кроме того (и здесь вступает в силу закон), W таково, что $W(b, g, k, u) = mX$, где m есть масса, а X ускорение тела b . (Наше предполагаемое ограничение модели тела как нерелятивистской частицы несущественно в данной ситуации.) Любая иная величина обладает подобной структурой. Это некоторая функция от топологического произведения по крайней мере двух множителей, одним из которых является множество физических систем определенного вида, а другим — множество единиц.

Очень часто одним из множеств физических систем, встречающихся в области какой-либо величины, является множество систем отсчета некоторого вида, относительно которых, например, сохраняют свою справедливость законы движения Ньютона. Такие системы иногда называют «наблюдателями» в соответствии с, так сказать, наблюдателецентристской философией, а именно с операционализмом. Очевидно, однако, что наблюдатели не вездесущи и не бессловесны, как системы отсчета; во всяком случае, их изучение не относится к физике. В итоге физическое значение вливается в формализм через основные физические величины, представляющие свойства физических систем и подчиняющиеся физическим законам.

Предшествующий анализ дисквалифицирует нумерологию как серьезный подход к физической теории. Нумерология может быть определена как жонглирование безразмерными константами (чистыми числами) с намерением получить значимые отношения. Так как нумерология имеет дело с безразмерными константами, ей довольно трудно приписать какое-либо физическое содержание. Поскольку эта игра чисел может быть введена в компьютер вне всякой связи с какими-либо утверждениями о законах, постольку нумерология лишь случайно

может привести к физическим законам. Тривиальность подобного вывода показывает следующая теорема.

Теорема. Дано n неотрицательных чисел a_1, a_2, \dots, a_n ; существует бесконечно много кратных n не равных нулю вещественных чисел (положительных или отрицательных) b_1, b_2, \dots, b_n , таких, что

$$a_1^{b_1} \cdot a_2^{b_2} \cdot \dots \cdot a_{n-1}^{b_{n-1}} = a_n^{b_n}.$$

(Доказательство: сперва возьмем логарифмы и рассмотрим случай при $n = 2$. Затем применим математическую индукцию.) Раз найдены данные n -кратные показатели степени, то легко аппроксимировать каждый из них простой дробью. Таким образом будет получено «поразительное» соотношение. Процедуру затем можно будет повторить с иным выбором показателей степеней, и так до бесконечности. Успехи в нахождении подобных числовых комбинаций зависят от наших способностей и ресурсов. При этом не требуется знания законов физики. Конечно, нумерология как некоторое случайное и слабоэвристичное средство имеет определенную ценность. Манипуляции с числами могут случайно привести к интуитивному озарению и даже проблеску правильной теории. Но главное заключается в том, что нумерология не является теорией и не содержит никаких физических законов. Это следует особо подчеркнуть потому, что всякий раз, когда скапливается некоторое множество необработанных данных (как в случае физики элементарных частиц и современной космологии), появляется склонность к попытке жонглировать ими, а не к поискам более глубоких гипотез, соответствующих этим данным.

На этом мы закончим разговор о роли математики в физике. Перейдем теперь к другому концу спектра, а именно к данным.

3. Эмпирическая компонента

В теоретической физике обычно избегают двух крайностей. Одной из них является *априорная теория*, которая не нуждается ни в каких данных, а другой — теория, принимающая все возможные данные, даже противоречащие ей. Любая, даже ошибочная, подлинно физическая

теория предоставляет место для некоторых данных, а именно взаимно совместимых данных одного вида относительно физических систем определенного типа и в определенных состояниях. Любая физическая теория, если она обогащается подходящими частными предположениями, способна в неограниченном количестве производить новые возможные данные, то есть делать предсказания — или ретросказания (см. § 4). Теория, лишенная предсказательной силы, не может быть использована и, следовательно, не может быть подвержена эмпирическим проверкам.

Предсказательная способность, повышающая авторитет каждой физической теории, столь удивительна, что питает точку зрения инструментализма, согласно которому научные теории отнюдь не являются картинами мира, а представляют собой не что иное, как средства для получения данных. Эта популярная точка зрения совершенно ошибочна. Если теория не связана с реальностью и не содержит никаких утверждений относительно законов, она не может делать предсказаний. Иными словами, комбинации данных, получаемые с помощью научных теорий, не должны быть ни произвольными (подобно лотерейным комбинациям), ни магическими. При таком ограничении научная теория, конечно, может рассматриваться в чисто практических целях (то есть оставляя объяснение в стороне) как фабрика данных.

Физическая теория должна иметь на входе некоторые фактические данные и быть способной получать из них на выходе другое множество возможных данных таким образом, чтобы как вход, так и выход согласовались с предположениями теории — законами, связями и т. д. Понятие согласования включает понятие *уместности* (relevance). Так, понятие граничных условий применимо только по отношению к теориям полевого типа, таким, как гидродинамика и квантовая механика. Но согласование есть нечто большее, чем уместность, — это также и логическая *совместимость*. Так, (воображаемые) данные «скорость распространения F -поля является бесконечной», даже если они и были бы истинными, несовместимы с (воображаемой) теорией F -поля, и, следовательно, их нельзя применить для каких-либо расчетов. Одной из частных форм совместимости является совместимость

мгновенных значений (instantiation). Так, начальная энтропия является частным случаем значения энтропии и поэтому совместима с любой теорией, содержащей это понятие, пока не будут независимо зафиксированы значения других физических величин, связанных с энтропией. Как данные входа, так и данные выхода будут согласовываться с теорией, если вычисления «правильны». Этот процесс не может способствовать получению существенно более глубоких потенциальных данных, чем это предполагается законами, содержащимися в теории. Одним словом, его логическая схема такова:

{Теория, данные} ⊢ предсказания.

Эта схема справедлива независимо от вида физической теории. Она может быть феноменологической, подобно теории электрических цепей, или описывать некоторый механизм, подобно теории проводимости в физике твердого тела. Она может быть стохастической, подобно квантовой механике, или нестохастической («детерминистической»), подобно общей теории относительности. Заметим также, что, в то время как множество данных в приведенной выше схеме является конечным, множество предсказаний потенциально бесконечно. То, что мы получаем в результате расчетов в теоретической физике, не есть просто совокупность чисел, а множество соотносимых функций. И множества значений этих функций обладают обычно мощностью по меньшей мере множества натуральных чисел.

В этом нет ничего магического, а также нет никакой индукции. Хотя число данных, вводимых в теорию, — конечно, все же некоторые из гипотез являются универсальными. Они принимаются как имеющие силу для всех возможных объектов какого-либо вида, всех возможных значений некоторой «независимой» переменной и т. д. Эта универсальность считается настолько само собою разумеющейся, что мы обычно пренебрегаем написанием соответствующих кванторов перед рассматриваемыми уравнениями. Такое пренебрежение недопустимо в аксиоматической формулировке. Например, когда мы записываем в полной форме закон Фарадея для электромагнитной индукции, нам следует предварить его следующей фразой: «В любой точке пространственно-временного многообразия, для каждого электромагнитного

поля и каждого заряженного тела существует система отсчета такая, что» — и здесь должна последовать первая тройка уравнений Максвелла.

Предшествующая оценка взаимозависимости теории и данных подразумевает отрицание точки зрения, согласно которой теории представляют собой только суммирование имеющихся данных и — самое большее — слабую экстраполяцию за пределы последних. Если бы теории были не чем иным, как суммированием данных, они едва ли предвосхищали данные, не говоря уже о предсказании бесконечного числа их, и давали бы гораздо меньше данных, отличных по качеству от тех, которые вводятся в теорию, как происходит в том случае, когда характеристики полей вычисляются по зарядам и токам. Кроме того, если бы теория была только «концентрацией» данных, она не могла бы им противоречить. И мы были бы не в состоянии понять (объяснить) что-либо с помощью теории, ибо данные независимо от их количества представляют собой не объяснение, а нечто такое, что само подлежит объяснению.

Фактуалистский взгляд игнорирует не только природу теорий, но также их роль в выявлении данных. В физике данная величина обычно является утонченным термином, который не может быть даже сформулирован вне какой-либо теории.

Возьмем, например, трек в пузырьковой камере или в фотографической эмульсии. Для того чтобы интерпретировать его как след, оставленный частицей, мы должны предположить: а) что существовала такая частица, б) что эта частица была электрически заряженной, как это и требуется согласно нашей теории, для того чтобы частица оставила след, в) что данная частица может взаимодействовать с веществом и г) что эта гипотетическая частица удовлетворяет по крайней мере закону сохранения энергии и импульса — ибо только это позволит нам расшифровать некоторые цифры в измеряемых нами величинах (длины и плотности треков). Если бы эти теоремы сохранения не предполагались, то было бы невозможно обнаружить нейтральные частицы и оценить величины их масс. Данная гипотеза, несомненно, является теоретической основой метода «пропавшей» массы. Любое неподчинение наблюдаемых треков теоремам сохранения энергии и импульса можно было бы приписать либо несо-

стоятельности самих теорем сохранения, либо наличие одной или нескольких нейтральных частиц, которые уносят с собой часть исходного импульса. Физики-экспериментаторы по крайней мере в этом пункте доверяют теории. Они предполагают, что эта гипотеза справедлива, и таким образом получают возможность открыть ряд нейтральных частиц.

Роль теорий в эксперименте не менее важна, чем роль эмпирических данных в активировании теорий и проверке их. Так, астроному нужна оптика, чтобы спроектировать и настроить телескопы; подобным же образом физик, изучающий элементарные частицы, нуждается в теориях, объясняющих функционирование детекторов, в противном случае он мог бы заняться подсчетом биений своего сердца; любой ученый, пользующийся гальванометром или даже просто шкалой, доверяет теории своего инструмента. Любая теория относительно экспериментальной установки или какой-либо из ее компонент может быть названа *инструментальной* теорией, тогда как теория, которая активизируется или испытывается, есть *субстантивная* (substantive) теория. Мы подробно остановимся на этом в гл. 10.

Референтом инструментальной теории является, таким образом, некий артефакт, например фотографическая эмульсия, а не природный объект вроде космических лучей. Субстантивные теории не относятся ни к каким конкретным артефактам, даже если эти теории достаточно общи и охватывают некоторые аспекты многих инструментов. Однако некоторые предельно общие теории, например релятивистская теория гравитации и квантовая механика, часто излагаются с помощью ссылок на инструменты и измерения, такие, как показания часов и дифракция через систему щелей. Эти ссылки ложны, так как общие теории не связывают себя со специальной аппаратурой. В частности, релятивистские теории говорят не о часах, а о времени. Если бы они касались часов, то а) они содержали бы частные предположения относительно реальных часов определенного вида (маятниковых, атомных, лазерных и т. д.) и б) не нужны были бы никакие специальные теории часов, можно было бы использовать релятивистские теории для расчета, скажем, периодических передач импульса маятнику, трения как функции скорости и других характеристик любых меха-

нических часов. Как бы там ни было, теория часов является сугубо специальным приложением общей теории — обычной механики. То же самое справедливо и для мысленных измерительных установок, встречающихся в операционалистских формулировках квантовых теорий. Такие инструменты нельзя было бы ни изобрести, ни оперировать с ними вне квантовой механики и других дополнительных теорий.

Взаимозависимость теории и эксперимента опровергает распространенное мнение, согласно которому физика (и наука вообще) подобна плоду с твердым ядром, окруженным нежной мякотью. Ядро — это множество данных, а мякоть — это теории, построенные вокруг них. Как ядро, так и мякоть находятся в процессе непрерывного роста (ядро в своем росте опережает мякоть), и если первое растет кумулятивно, то теории «откусываются» каждым новым экспериментом. Эту точку зрения можно опровергнуть двояким образом: и с помощью контрпримеров, и путем доказательства того, что она не соответствует реальному методу исследования. Что касается контрпримеров, то достаточно упомянуть следующее: а) уже после того, как было объявлено о нарушении объединенного закона сохранения заряда и четности, была осуществлена последовательность экспериментов, результаты которых колебались между альтернативными свидетельствами за и против этого закона; б) в физике твердого тела, где весьма существенна чистота образца (ибо нежелательные примеси могут сказываться на его макросвойствах), очень часто наблюдается несогласие между равно компетентными экспериментаторами. Данные физики твердого тела не менее текучи, чем данные других областей.

Относительно методологической несостоятельности аналогии с плодом достаточно будет отметить два пункта. Первый состоит в том, что экспериментаторы имеют дело с реальными материалами, которые редко бывают чистыми, и манипулируют ими в сфере активного и загрязненного окружения, состоящего из воздуха и некоторого ассортимента полей. Поскольку такие условия не всегда можно контролировать или даже установить, экспериментаторы получают различные результаты при тех же самых условиях, ибо фактически невозможно в точности воспроизвести какое-либо данное условие. Все, что

может сделать экспериментатор, состоит в следующем: а) тщательно устранять источники расхождений (например, улучшить изоляцию), б) более точно фиксировать действительные условия эксперимента, в) корректировать свои действия с помощью теорий. Но даже и в этом случае данные обязательно будут в чем-то расходиться; точная согласованность часто оборачивается случайным совпадением. Второй вопрос о методе касается отношения теории к эксперименту. Интересующая нас эмпирическая информация добывается как в свете некоторой теории (хотя, возможно, и находящейся в зачаточном состоянии), так и с помощью различных инструментальных теорий.

Короче говоря, данные могут быть такими же противоречивыми, как и теории. Но при достаточно гибком соотношении данных и теории, их взаимопроверке никакие устойчивые ошибки невозможны. Постоянная возможность двусторонней коррекции более свойственна науке, нежели метод проб и ошибок, или кумулятивный рост, или же тотальная революция.

Подведем итоги нашего обсуждения взаимоотношения между теорией и данными.

(i) *Данные могут стимулировать создание теорий.* При условии, если они аномальные (расходятся с какой-либо теорией) или, будучи получены с помощью надежных инструментальных теорий, не укладываются в рамки ни одной из существующих независимых теорий.

(ii) *Данные могут активировать теории.* Введение данных в теорию может способствовать получению специфических объяснений или предсказаний.

(iii) *Данные могут проверять теории.* Если теоретические предсказания вступают в противоречие с данными, то тем самым оценивается истинность этих предсказаний. Однако данные сами по себе не решают дела. Для вынесения приговора следует дополнительно выслушать мнение и других теорий.

(iv) *Теория может служить проводником в поисках данных.* Во-первых, предсказывая неизвестные еще эффекты, во-вторых, помогая проектировать экспериментальные установки.

(v) *Случайные данные бесполезны, а иногда могут вводить в заблуждение.* Если хорошо обоснованные теории не принимают участия при получении данных, то на

эти данные нельзя полагаться. Если же они не согласуются по крайней мере с некоторыми хорошо подтвержденными гипотезами, то это — редкость, которая может быть объяснена какой-либо методической ошибкой в проектировании эксперимента или снятии показаний.

(vi) *Теории не имеют никакого наблюдательного содержания.* Если надо вывести дедуктивно дальнейшую потенциальную информацию (предсказание), то эмпирическая информация (например, начальные температуры) должна быть введена в теорию извне. Следовательно, а) теории не могут быть выведены из данных и б) физические теории не могут быть интерпретированы в эмпирических терминах (например, в терминах измерений длины и времени), но в) они должны интерпретироваться в объективных физических терминах, то есть путем ссылки на физические системы, свободные от наблюдателя.

4. Общая теория и модель

Механика сплошных сред представляет собой крайне общую теорию, которая описывает тела всех видов. Она является настолько общей, что не может быть применима ни к одной частной проблеме, если к ней не добавляются специальные предположения относительно рассматриваемой системы. С другой стороны, механика материальной точки суть специальная теория — настолько специальная, что она способна решать лишь немногие проблемы. А классическая теория гармонического осциллятора — еще более специальная теория. Она представляет собой теоретическую модель любого свободного вибратора. Точно так же общая теория квантованных полей является настолько общей, что лишь с ее помощью нельзя рассчитать ни одного поперечного сечения. С другой стороны, квантовая электродинамика является более специфической теорией. Еще более специальной теорией, а именно теоретической моделью упругого рассеяния фотонов на электронах, является теория эффекта Комптона. В обоих случаях специальная теория и частная теоретическая модель системы получаются путем добавления вспомогательных вторичных предположений к общей схеме — например, приписывая конкретные значения гамилтониану или вводя уравнения композиции (законы композиции веществ). Сказанное выше суммируется так:

**(Общая теория. Специальные предположения) —
— Специальная теория.**

В новых областях на первых порах исследования какие-либо общие схемы (frameworks), как правило, отсутствуют, в лучшем случае имеют теоретическую модель, то есть специальную теорию, охватывающую узкие виды, а не широкий род физических систем. И если хотят иметь дело со специфическим состоянием вещей, например с кидкостью в турбулентном движении или с атомным ядром, бомбардируемым протонами, надо построить их модель независимо от того, имеется ли общая теория или нет, то есть некоторую идеализацию или эскиз реальной вещи, который отразил бы ее характерные черты. Иными словами, теоретическая модель системы включает схематическое представление (модель) реальной или предполагаемой системы. Эту модель иногда называют *модельным объектом*.

Следующая таблица иллюстрирует сказанное.

| Система | Модельный объект | Теоретическая модель | Общая теория |
|--------------|---|---|---|
| Луна | Сферическое твердое тело, вращающееся вокруг своей оси, обращающееся вокруг фиксированной точки и т. д. | Теория Луны | Классическая механика и теория гравитации |
| Лунный свет | Плоскополяризованная электромагнитная волна | Уравнение Максвелла для вакуума | Классический электромагнетизм |
| Пусок стекла | Беспорядочная линейная цепь бусинок | Статистическая механика случайных цепей | Статистическая механика |
| Кристалл | Решетка плюс электронное облако | Теория Блоха | Квантовая механика |

Рассмотрим первый пример. Когда в классическую механику и классическую теорию гравитации вводятся специальные предположения и данные относительно какого-нибудь определенного тела, получают специальную

теорию этого тела. Так, мы имеем теории Луны, теории Марса, теории Венеры и т. д. Самым низким уровнем утверждений этих теорий являются выражения для координат (сферические геоцентрические), относящиеся к рассматриваемому телу. Эти функции являются решением уравнений движения и представлены в виде рядов Фурье. Для того чтобы получить числовые значения, нужно приписать времени определенное значение и просуммировать соответствующий ряд: суммирование обычно осуществляется приближенно — берут только конечное число членов разложения. Любое расхождение между специальной теорией и результатами наблюдений может быть отнесено либо к ошибкам наблюдения, либо к некоторым ингредиентам теоретической модели. Обычно расхождения приписываются членам, пренебрегаемым при разложении ряда. Так было в случае с известными «гравитационными несоответствиями» (довольно странное употребление терминов!) в современной теории Луны, открытыми в 1968 году. Было бы нелепо искать причину этих несоответствий, например, в эффектах специальной и общей теории относительности. Общим теоретическим схемам доверяют только потому, что, когда их дополняют специальными предположениями, они редко приводят к подобным расхождениям с данными. Однако в принципе под подозрением находятся все ингредиенты: общая теория, специальные предположения, модельный объект, вычисления и даже данные. Только лежащий в основе теории математический формализм выше подозрений, если ему, конечно, не свойственны внутренние противоречия.

Никакие специфические вычисления и, следовательно, никакие противоречия с данными не существуют без некоторого модельного объекта или эскиза рассматриваемой физической системы. *Модельный объект* в соединении с множеством утверждений о законах и других предпосылках дает *теоретическую модель* реальной вещи. Обозначая реальную вещь через R , а ее модель через M , мы можем записать: $M \cong R$, то есть « M представляет R ». Любое такое представление частично: оно не охватывает (и не должно охватывать) каждую отдельную черту представляемого объекта. Напротив, некоторые черты модели M могут совершенно не соответствовать референту R , то есть быть излишними. Частичная

природа соответствия модели и вещи хорошо иллюстрируется двумя простейшими (и весьма бедными) модельными объектами: точечной массой и черным ящиком. Точечная масса, или частица, — это не вещь, а модель тела. Она может быть построена как n -кратно упорядоченный перечень со следующими членами: точка в обычном пространстве, масса и скорость. (Все остальные ее свойства являются производными от последних.) Понятие черного ящика также может рассматриваться как пара: система — окружение, обладающая тремя функциями: вход, преобразователь и выход.

В любом из этих двух случаев бесформенность и бесструктурность модели, будь то точечная масса или черный ящик, зависят от свойства натуральной системы, обладающей формой и структурой, которые либо неизвестны, либо на самом деле не имеют отношения к задачам, стоящим перед исследователем. Таким образом, теряются или преднамеренно стираются детали представляемого объекта. Рассмотрим более внимательно это частичное соответствие: отношение материальная точка — тело:

| Точечная масса | Тело |
|-------------------------------------|----------------------------|
| Положение точки | Область пространства |
| Скорость точки | Поле скоростей |
| Масса | Распределение масс |
| Сила, действующая на точечную массу | Сила, действующая на тело |
| _____ | Силы при соприкосновении |
| _____ | Распределение напряжения |
| _____ | электрических токов |
| _____ | (E, B) — поле |
| _____ | (D, H) — поле |
| _____ | Распределение температур |
| _____ | Плотность энтропии и т. д. |

Если вместо модели как точечной массы M в качестве картины реального тела рассматривается модель в виде сплошного тела M' , мы получаем другую модель или представление того же самого объекта, то есть некую его альтернативную теоретическую модель. Любая из моделей в виде сплошного тела M' (с электродинамическими и термодинамическими свойствами или без них) богаче модели M . Существует функция отображения перечня M в любой из перечней M' , но не обратно. Вообще говоря, из двух модельных объектов, M и M' , фи-

зической системы R , M' является более сложным, чем M , если и только если имеется соответствующее отображение из M в M' . Две модели, M и M' , данного конкретного объекта R одинаково сложны, если и только если существует соответствующее отображение f из M в M' и обратное ему. Более сложные модели не являются с необходимостью более истинными, чем простые, однако имеют для этого больше возможностей.

Любой модельный объект не представляет исключительной собственности данной теории. Например, можно предположить, что точечная масса удовлетворяет какому-то числу уравнений движения; таким образом, она может быть общей для ряда теоретических моделей. Собственно говоря, любая данная модель объекта в определенных пределах может быть вписана во множество альтернативных теорий. Поскольку модельный объект представляет собой только перечень свойств, эти свойства могут характеризоваться и взаимно соотноситься друг с другом бесконечным числом способов, производя сколько угодно теоретических моделей. Напротив, любая общая теория может быть соединена с альтернативными модельными объектами, если последние построены с помощью понятий, встречающихся в общей схеме. (Это условие весьма важно, однако о нем часто забывают, когда речь заходит о квантовой механике. Многие из концептуальных трудностей этой теории зависят от упрямых попыток «привить» ей классические модельные объекты, такие, как частица и волна.)

Предшествующие рассуждения имеют важные методологические следствия. Первое следствие: эмпирическое опровержение данной теоретической модели еще не означает опровержения лежащей в ее основе общей теории, если таковая имеется. *Пример 1.* В некоторых неточностях релятивистской теории гравитационного поля Солнца следует считать виновным решение Шварцшильда, основанное на модели Солнца как точечной массы. *Пример 2.* Неудача соответствующих теорий ядерных сил при попытке дать удовлетворительное объяснение стабильности, структуры и превращений атомного ядра отнюдь не опровергает квантовой механики. Это может зависеть от конкретных моделей (то есть от гамильтонианов), которые пока еще не рассматривались.

Второе методологическое следствие, вытекающее из

различия общей теории, теоретической модели и модельного объекта, состоит в том, что общие теории, строго говоря, непроверяемы. В самом деле, они не могут сами по себе решить какую-либо частную проблему и, следовательно, сделать какие-либо специфические предсказания. Только теоретическая модель может противоречить данным. Например, общая механика сплошных сред непроверяема без дальнейших специальных предположений. С другой стороны, механика материальной точки — весьма специальная субтеория (теоретическая модель) последней — является проверяемой. (Будучи специальной, она не может породить общей теории, хотя некоторые авторы учебников и пытаются построить тела из точек.) Короче говоря, проверяемы только специальные теории (теоретические модели) благодаря содержащимся в них определенным модельным объектам¹.

В таком случае нам следует помнить, что никакая проверяемая теория не является *полностью* проверяемой. Во-первых, потому, что невозможно проверить каждое из бесконечного числа утверждений (см. § 1). Во-вторых, потому, что даже теорема низкого уровня, например решение уравнения поля, не может быть проверена, ибо для этого каждое значение «независимых» переменных, среди которых имеются переменные объекта, представляющие рассматриваемую систему, должно быть принято во внимание. В-третьих, потому, что любое множество данных совместимо с неограниченным числом альтернативных формул высокого уровня. Даже данное множество утверждений о законах может быть обосновано с помощью довольно различных аксиом. Так, любое данное множество уравнений движения может быть выведено из любого числа альтернативных лагранжианов. В-четвертых, потому, что каждая плодотворная теория имеет ряд утверждений, которые слишком далеки от опыта, такие, как формулы положения и скорости электрона в атоме. В конечном счете теории могут быть подтверждены или опровергнуты частичной проверкой, но не могут быть доказаны. Даже опровержение их является сложным (хотя и не невозможным) делом из-за ряда более или менее неопределенных компонент.

¹ См.: M. Bunge, «Proc. XIV International Congress of Philosophy», III, Herder, Wien, 1969.

Эта неопределенность в установлении ценности (значения истинности) научных теорий вдохновляет антитеоретические предубеждения, которые часто выражаются в попытках очистить теории от их трансэмпирических и ненаблюдаемых ингредиентов. Но определение «научной теории» говорит о том, что такая программа нежизнеспособна. Любая научная теория является гипотетико-дедуктивной системой, то есть системой, основанной на гипотезах или утверждениях, которые идут дальше наблюдений, то есть касаются целого класса фактов, а не только тех, которые нам случается наблюдать. Кроме того, наблюдаемость, или, скорее, измеримость, зависит от теории. Без теории мы не получили бы многих наиболее интересных и точных данных (подробнее об этом см. гл. 10). Прогресс науки состоит не во все большем исключении ненаблюдаемых, а в их приумножении и научном применении. Доступная исследованию ненаблюдаемая так или иначе связана с наблюдаемыми эффектами и имеет по крайней мере такую же ценность в раскрытии значения старых и предположении новых ненаблюдаемых, как и переменная, которой можно манипулировать непосредственным образом. Она гораздо более ценна, нежели наблюдаемые, не обработанные с помощью теории.

В заключение перечислим проблемы, с которыми сталкивается физик-теоретик.

(i) Имеется совокупность данных. Найти формулы, охватывающие это множество. Можно свободно изобретать ненаблюдаемые понятия, поскольку они доступны исследованию.

(ii) Имеется множество формул, охватывающих данные. Соединить их в теорию. Физик-теоретик свободен выдвигать далеко идущие гипотезы, если они в главном допускают сопоставление с эмпирическими данными.

(iii) Имеется совокупность специальных теорий (теоретических моделей). Найти общую теорию. Можно отбросить несколько специальных гипотез и обобщить остальные.

(iv) Дана общая теория. Соединить ее со специальными предположениями, чтобы получить теоретическую модель. При этом необходимо учитывать имеющиеся в наличии реальные проблемы.

(v) Дана теоретическая модель. Необходимо получить множество предсказаний, осуществляя связь с реальными данными.

(vi) Делается ряд предсказаний. Необходимо проследить их выполнение и сделать вывод о ценности предпосылок. Если это необходимо, можно изменить последние, отбросив неопределенные данные.

Мы прошли полный круг. Опыт ставит перед нами определенные теоретические проблемы. Решение некоторых из этих проблем вновь возвращает нас к эксперименту. Каждая стадия этого цикла такова, что в отрыве от других стадий она не имеет никакой ценности. Мы считаем необходимым напомнить об этом именно сейчас, когда профессия физика расчленилась на изготовителей инструментов, экспериментаторов, физиков-теоретиков с пристрастием к эксперименту, физиков-теоретиков с математическим уклоном, физиков-математиков и физиков-исследователей в области оснований физической науки. Заслуга философии состоит в том, что она напоминает нам о целом, лежащем в основании (глубже) подобной дифференциации.

На этом мы завершаем наше обозрение физических теорий. В последующих главах внимание будет сосредоточено на ряде специальных проблем оснований и философии физики, связанных с физическими теориями. И прежде всего будет поставлен вопрос: о чем говорят физические теории? В связи с этим речь будет идти о реализме, субъективизме и конвенционализме, которые характерны для философии физики последних более чем ста лет.

Референты физической теории

Принято считать, что теоретическая физика, по крайней мере в течение двух последних десятилетий, находится в тупике. В частности, не было сделано никакого фундаментального сдвига в сфере физики «элементарных частиц». В этой области не существует общих теорий, обладающих предсказательной силой. Путь преграждает ряд огромных технических трудностей; но существуют и некоторые философские препятствия, которые легко могут быть преодолены. Главным среди них является характерная для современности путаница и неопределенность относительно референтов фундаментальных физических теорий, то есть того типа вещей, о которых говорят эти теории¹. Если фундаментальные физические теории непосредственно относятся к языку, как это иногда утверждают, то, очевидно, следует обратиться к лингвистике, чтобы она в качестве проводника помогла выбраться из физических проблем. Если же они касаются высказываний, то нам следует обратиться к логике за ответом на актуальные вопросы физики элементарных частиц. С другой стороны, если любая теория, описывающая ту или иную микросистему, говорит нам о неразложимом далее блоке объект — прибор — наблюдатель (известное положение Бора о «существенной целостности собственно квантовых явлений»²), то, очевидно, не существует возможностей для более тонкого анализа. Но если физика

¹ См.: M. Bunge, «*Studium Generale*», 1970, vol. 23, S. 562.

² См.: Н. Бор, *Атомная физика и человеческое познание*, М., 1961, стр. 72.

должна ввести в картину мира в качестве отдельного и определяющего фактора разум наблюдателя¹, тогда появляется надежда на прогресс, поскольку физика в этом случае объединяет свои силы (или, скорее, свои слабости) с психологией. И если, наконец, физика является наукой о вещах, которые предполагаются существующими вне нас, то ее задача остается традиционной: получать все более полное и точное² знание об этих вещах, а не констатировать окончательную победу или же переключаться внутрь, на изучение самой себя. В любом случае идентификация референтов физической теории имеет не только философское значение: она непосредственно затрагивает стратегию научного исследования.

1. Проблема интерпретации

1.1. Референт

То, о чем говорит конструкт (понятие, высказывание или теория), или что символизирует, или к чему он относится, или, возможно, лишь предполагается, что относится, называется (*предполагаемым или гипотетическим*) референтом данного конструкта. Референтом конструкта может быть единичный объект или какое-то число объектов; он может быть воспринимаемым или невоспринимаемым, реальным или воображаемым и так далее. В любом случае референт конструкта представляет собой совокупность предметов и поэтому называется также (*предполагаемым или гипотетическим*) классом референтов (*reference class*) конструкта. Например, классом референтов понятия «холодный» является определенное множество тел, а классом референтов высказывания «земля вращается» является {Земля}, тогда как референты релятивистского волнового уравнения, предложенного Дираком, до сих пор еще не идентифицированы.

Некоторые классы референтов *гомогенны*, то есть состоят из элементов одного вида, например атомы дейтерия. Другие классы референтов *негомогенны*, то есть состоят

¹ См.: E. Wigner, *The Scientist Speculates*; I. J. Good (ed.), Heineman, London, 1962; R. M. F. Houtappel, H. van Dam and E. P. Wigner, *Reviews of modern Physics*, 1965, vol. 37, p. 595; A. Heitler, *Man and Science*, New York, Basic Books, 1963.

из элементов различных видов, таких, как протоны и синхротроны или атомы и внешние поля. Класс референтов, состоящий из пар сущностей типа A и B , может быть построен как объединение $A \cup B$ соответствующих множеств. О конструкторе говорят, что он *относится* (refer) к классу A только в том случае, когда множество A включено в класс референтов данного конструктора.

Проблема заключается в том, чтобы найти класс референтов любой физической теории. В частности, мы хотим установить, составлен ли класс референтов физической теории хотя бы только отчасти из познающих субъектов, например наблюдателей или их психических состояний. Не приходится сомневаться, что некоторые выражения, встречающиеся в физических публикациях, с полным правом могут быть отнесены, по крайней мере частично, к познающему субъекту. Любые такие выражения будут называться *прагматическими выражениями* (pragmatic expressions) в противоположность выражениям, *касающимся физического объекта* (physical object expressions), свободного от какой-либо ссылки на обладающего сознанием субъекта. Например, выражение «Значение свойства P физического объекта x равно y » является предложением о физическом объекте (или, скорее, схемой предложения), тогда как выражение «Наблюдатель z нашел значение y для свойства P физического объекта x » является прагматической схемой предложения. Если в первом случае ссылка делается только на физическую систему, то во втором случае ссылаются уже на два референта: систему и наблюдателя. Иначе говоря, если в первом случае вопрос стоит о *значении* физической величины, то во втором — о *наблюдаемом значении* или эмпирической оценке той же самой величины, то есть о ее значении для данного наблюдателя. Это различие, возможно, и выглядит незначительным, однако, как это будет вскоре показано, оно имеет важное научное и философское значение. Сейчас же достаточно указать, что если предшествующее высказывание о физическом объекте имеет форму: $P(x) = y$, то соответствующее прагматическое высказывание может быть представлено как $P'(x, z) = y$ или, точнее, как $P'(x, z, t, o) = y$, где t представляет измерительные инструменты, а o последовательность операций, совершаемых наблюдателем z при измерении свойства P на объекте x . Мы выбрали новый сим-

вол P' , чтобы обозначить измеряемое свойство, так как оно становится чем-то явно отличным от P . В самом деле, если функция P определяется на множестве X физических объектов, то функция P' определяется на множестве четверок: $X \times Z \times T \times O$ (физический объект — наблюдатель — способы измерения — последовательность действий). Мы еще вернемся к этому вопросу в § 2.

В таком случае вряд ли стоит спорить о том, что язык физики содержит прагматические предложения. (А также прагматические метапредложения типа «Никто не знает, верна ли гипотеза кварков».) Что на самом деле является предметом спора, так это тезис о том, что *все* нематематические предложения, встречающиеся в любой физической теории, прагматичны в том смысле, что по крайней мере одна из компонент класса референтов физической теории представляет собой множество человеческих субъектов, таких, как компетентные наблюдатели. Иными словами, вопрос, который до сих пор остается среди физиков спорным, представляет собой семантическую проблему идентификации референта физической теории либо как физической системы, либо как субъекта, либо как синтез субъекта и объекта, либо, наконец, как пару субъект — объект. Одним словом, спор идет об интерпретации физических символов, и в частности интерпретации формул теоретической физики. Вопрос состоит в том, являются ли они предложениями о физических объектах, или только предложениями о психических объектах, или, быть может, физико-психическими предложениями, или, наконец, предложениями частично о физических, а частично о психических объектах. Прежде чем начать поиски правильного ответа, необходимо выяснить, какие интерпретации возможны вообще.

1.2. Интерпретация строгая и случайная

Если теологическая герменевтика может быть произвольной, то интерпретация научных формул не должна быть делом случая. Прежде всего, интерпретация, приписываемая основным, или неопределяемым, символам научной теории, не должна представлять последние как противоречивые, а должна быть максимально истинной (например, было бы неверно интерпретировать квадрат волновой функции как плотность массы, так как это не-

совместимо с условием ее нормировки). Во-вторых, если символ определен или выведен с помощью предварительно введенных знаков, то его значение должно «вытекать» из последних, а не измышляться *ad hoc*. (Например, было бы ошибкой интерпретировать производную по времени от среднего значения координаты положения как среднюю скорость, если данную переменную нельзя интерпретировать как представляющую физическое положение, что в релятивистской квантовой механике далеко не очевидно.) В-третьих, строгая интерпретация сложного высказывания должна быть совместима с его структурой. В частности, если утверждается, что определенный сложный символ относится к вещи данного вида, то по крайней мере одна из его составляющих должна быть пригодна для обозначения этой вещи. (Например, для того чтобы волновая функция имела отношение как к микросистеме, так и к прибору, она должна реально зависеть от их переменных, что является скорее исключением, чем правилом.)

Рассмотренные выше условия представляются очевидными, но их часто игнорируют. Первое условие просто не имеет смысла в отношении большинства формулировок теорий, ибо оно применимо только к аксиоматическим системам. В самом деле, только в аксиоматизированном контексте имеет смысл дихотомия на основные и определяемые понятия. Второе условие нарушается всякий раз, когда определяемая величина (или выводимая формула) интерпретируется в терминах, не свойственных определяющим терминам (или предпосылкам, смотря по обстоятельствам). Это условие нарушается, например, когда энтропия физической системы, подсчитанная на основе данных и предположений относительно самой системы, интерпретируется как оценка субъектом информации относительно системы, хотя в этом случае не имеется никаких предпосылок в отношении субъекта и процесса получения им знания. Что касается третьего условия, то его нарушение можно показать на следующем примере. Если кто-то утверждает, что формула, скажем $y = f(x)$, относится к свойству f объекта x некоторого класса X (каково бы ни было это свойство) и оно наблюдается исследователем z , относящимся к классу Z , то тем самым он вводит в эту формулу призрачную переменную, а именно z . Эта переменная (как и все множество Z в целом) является пустой, так как она лишена оснований. Для того

чтобы считать нечто подлинным референтом, нужно, чтобы имело место отношение референтности к некоторому знаку, а в рассмотренном выше случае утверждению о наблюдателе, которое встречается в данном выражении, не соответствует никакой символ. (Как мы увидим в § 3.2, такие ложные переменные содержатся в стандартной квантовой теории измерений.)

Интерпретация (неформальная, или описательная) некоторой переменной будет называться *строгой*, если она приписывает данной переменной только один объект. Если в некотором выражении каждому неформальному символу дается строгая интерпретация, то мы будем говорить, что это выражение интерпретируется как строгим, так и *полным* образом. Если строго интерпретируется по крайней мере один символ, такая интерпретация будет называться *строгой* и *частичной*. Любая интерпретация, частичная или полная, не будучи строгой, будет называться *случайной*. Например интерпретация символа « $v(x, y)$ » как скорости системы x относительно системы отсчета y является и строгой и полной, а ее интерпретация как скорости системы x относительно системы отсчета y , измеряемой некоторым наблюдателем z с помощью измерительных приборов t , является случайной, поскольку затрагивает переменные z и t .

Ясно, что строгая и полная интерпретация более предпочтительна, чем неполная или избыточная. В таком случае нас не постигнет неудача в толковании некоторых компонент значения символа и мы не будем приписывать ему также слишком много. Но не все строгие интерпретации приводят к истинным формулам, так же как не все случайные интерпретации приводят к формулам ложным. То, что строгая интерпретация может привести к ошибке, доказывается путем интерпретации, скажем, формул термодинамики в терминах субъективной вероятности. То, что случайная интерпретация может быть истинной, даже тривиально истинной, также вполне очевидно. Так, в примере с функцией f , соотносящей две переменных: если f является правильной и если экспериментатор выполняет свою работу должным образом, он получит значения f , близкие к вычисленным. Но экспериментатор может быть неумелым, и случайная интерпретация может оказаться ошибочной. Подчеркивание роли экспериментатора создает впечатление, что объект обязан ему тем, что обла-

дает свойством f . Тем самым случайная интерпретация будет вводить в заблуждение. Строгие интерпретации избегают подобного риска. Поэтому нам следует весьма осторожно относиться к случайным интерпретациям.

1.3. Прагматические интерпретации

Со времени зарождения операционализма существует сильная тенденция строить лингвистические выражения в прагматических терминах. Это имеет место не только в отношении формул, поддающихся экспериментальной проверке, но также и в отношении математических формул. В качестве обычной практики в учебных аудиториях, где эта тенденция имеет дидактические достоинства, она является одновременно и признаком математического интуиционизма — математического партнера физического операционализма. Однако все такие прагматические интерпретации математических символов являются случайными, так как суть математики состоит в том, чтобы абстрагироваться от потребителя и обстоятельств, чтобы достичь универсальности и свободы от тирании фактов. Для обозначения комплексного сопряжения будем использовать, например, символ со звездочкой. Строгая интерпретация выражения ' z^* ', где z обозначает комплексное число, будет следующей: z^* означает вещественную часть z минус мнимая часть z , умноженная на i . (Это правило обозначения может быть заменено определением.) Напротив, прагматическая интерпретация того же самого символа будет следующей: «Все, что представлено символом ' z^* ' по предположению, обращает знак мнимой части z ». Вторая прагматическая интерпретация, величины ' z^* ' выражается в виде правила или предписания. «Чтобы вычислить z^* из z , обратите знак мнимой части z ». Третьим прагматическим прочтением символа была бы инструкция, которую можно ввести в компьютер с тем, чтобы мы могли пользоваться этим символом. Любая прагматическая интерпретация логического или математического символа может быть построена как инструкция по эффективному обращению (например, вычислению) с определенным символом.

Заданному математическому символу может быть приписано любое число прагматических интерпретаций в зависимости от способов, обстоятельств и целей его ис-

пользования (например, в связи с различными видами компьютеров). Эта множественность прагматических интерпретаций становится возможной потому, что они являются случайными по отношению к математическим символам. Иными словами, они не подчиняются внутренним математическим законам, которым удовлетворяют сами символы. В самом деле, чистая математика ничего не говорит нам о потребителях, обстоятельствах или целях. Поэтому следует ожидать, что лишь некоторое подмножество мыслимых прагматических интерпретаций математических символов будет *общезначимым* (valid). В любом случае мы нуждаемся в критерии общезначимости. Предложим такой критерий, применимый как к математическим, так и к фактуальным символам.

Поставим условие, что прагматическая интерпретация знака будет *общезначимой* только в том случае, если существует теория, содержащая этот знак, и такая, что обеспечивает основу или оправдание для процедуры, обозначаемой прагматической интерпретацией. Так, арифметика обеспечивает основание для инструкций (подтверждая их), которые дают детям относительно операций на счетах, а также инструкций, вводимых в компьютер, чтобы найти, скажем, данную степень целого числа. Прагматическая интерпретация будет называться *несостоятельной* (invalid) только в том случае, когда она не общезначима. Так, интерпретация некоторой химической формулы в прагматических терминах, включающих заклинания, а не, скажем, операции смешивания, размешивания и нагревания, будет открыта для обвинения в несостоятельности, ибо нет никакой теории, оправдывающей связь химической структуры и заклинаний. Аналогично интерпретация энтропии как меры нашего незнания является несостоятельной, так как она подразумевает ошибочную идентификацию статистической механики с эпистемологией. Заметим, что «общезначимый» не эквивалентно «справедливому» (right). Так, может оказаться, что некоторая необоснованная или неподтвержденная прагматическая интерпретация справедлива, ибо можно построить теорию, которая ее подтверждает. И наоборот, значимая прагматическая интерпретация может оказаться ложной, ибо теория, поддерживающая ее, должна быть отброшена.

Посмотрим теперь, можно ли формулам теоретиче-

ской физики приписать общезначимую прагматическую интерпретацию (см. § 2). Нет смысла спорить, что прагматические интерпретации вполне уместны в экспериментальной физике, где ссылки на наблюдателей и обстоятельства наблюдения законны и часто формулируются в явном виде. Здесь мы находим два вида прагматической интерпретации — строгую и случайную. Начнем с первой. Некоторое выражение, такое, как « $f(x, y) = z$ », в принципе может быть интерпретировано следующим образом: « f — свойство x в том виде, как оно наблюдалось (или измерялось) y -ом, равно z ». Поскольку данная формула оставляет место для прагматического референта, предшествующая интерпретация является как строгой, так и отчасти прагматической. Несомненно, любая подобная интерпретация должна быть прагматической лишь частично, если ее рассматривать как предложение языка физики, ибо этой науке, видимо, случается иметь дело и с физическими системами. Далее, переменная y должна характеризовать возможного, а не мифического наблюдателя, подобно наблюдателю на бесконечности (или еще — непрерывный поток наблюдателей, которые вводятся некоторыми специалистами по теории поля). В-третьих, y должна быть переменной в интуитивном смысле, то есть некоторое изменение в значении y должно порождать некоторое различие в значении f . Одним словом, если учесть определенные ограничения, то некоторым физическим формулам может быть дана строгая интерпретация, которая частично будет прагматической.

Однако подавляющее большинство обычных прагматических интерпретаций, которые мы находим в физической литературе нашего столетия, является случайным, а не строгим. То есть они не приписывают значение каждой переменной в сложном символе, а берут последний в целом и подбирают ему прагматическую составляющую со стороны. Так, если дано некоторое предложение s , принадлежащее языку физической науки, то в литературе часто встречается следующая его прагматическая интерпретация: а) « s суммирует измерения, осуществляемые компетентным наблюдателем», б) «выполните операции, необходимые для того, чтобы проверить s », и в) «действуйте (анализируйте, измеряйте, стройте, разрушайте...) в соответствии с s ». Ссылка на физический объект вычеркивается, все указывает теперь на не-

которого активного субъекта. В результате, по-видимому, отбрасывается и идеал научной объективности.

В то время как строгая прагматическая интерпретация может внести вклад в определяемое значение термина, случайная интерпретация, будь то прагматическая или нет, с этой задачей не справляется. Она лишь предписывает или наводит на мысль о более или менее точном образе или методе действий, но не говорит нам о том, что стоит за тем или иным символом, указывая лишь на то, что может быть сделано с ним. Именно этот вопрос является предметом особого внимания со стороны всех специалистов и философов виттгенштейновского толка. Далее, даже когда со знаком s можно обращаться эффективно и в соответствии с одной из его прагматических интерпретаций, весь смысл s не всегда будет понятен даже пользователю, хотя он должен иметь некоторый смысл для лица, несущего в конечном счете ответственность за то или иное его употребление. Так, вычисления и даже измерения могут быть выполнены с помощью компьютеров, которым задаются только прагматические интерпретации. Но программист должен быть способен к семантической интерпретации символов, с которыми он обращается, в противном случае он не сможет написать какую бы то ни было программу и декодировать результат, выданный машиной. Так, если предложение s выражает некоторое свойство P какой-либо физической системы, то любая прагматическая интерпретация предложения s , ориентированная на использование, скажем, определенной измерительной установки, требует не только адекватной семантической интерпретации s (то есть указания на физические системы), но также ее связи с рядом дальнейших предложений, пригодных выразить тот способ, которым P может быть эффективно измерено на конкретной физической системе. (Эти дополнительные предложения обычно принадлежат теориям, отличным от той, которой принадлежит s .) Иными словами, замысел и выполнение эмпирических операций, будет ли выполнение автоматическим или нет, включает приписывание *прагматических интерпретаций, основанных на семантических интерпретациях*. Короче говоря, случайные интерпретации, даже в том случае если они вполне законны, не могут заменить семантических интерпретаций.

1.4. Четыре тезиса о референте физической теории

Прежде чем задать вопрос о том, каким может быть референт физической теории, мы должны выяснить, обладает ли вообще теория референтом. Имеется два возможных ответа на этот предварительный вопрос: один из них утвердительный, другой — отрицательный. Последний, несомненно, выражает конвенционалистскую, или инструменталистскую, точку зрения, согласно которой физические теории представляют собой не описания чего-либо, а лишь средство суммирования и обработки данных, то есть инструменты, позволяющие получать информацию и делать предсказания. Этот ответ несостоятелен по крайней мере по двум причинам. Во-первых, он не говорит нам, с какого рода данными предположительно имеют дело физические теории и какого рода предсказания можно с их помощью получить в противоположность, скажем, социологическим теориям. И во-вторых, последовательный конвенционалист, по существу, не знает, как подойти к проверке физической теории, ибо каждое такое испытание предполагает знание того, с чем данная теория должна иметь дело. В самом деле, если теорию намереваются связать, скажем, с жидкостями, то это будут не атомные ядра и не войны, а именно жидкости. Поэтому мы отбросим конвенционалистский тезис.

В таком случае неконвенционалист должен иметь ответ на вопрос «О чем говорят физические теории?». Поскольку референтом некоторой фактуальной теории может быть либо физический объект, либо субъект, либо какая-то комбинация обоих, существует четыре возможных и взаимно исключающих ответа на вопрос об идентификации референта. Эти ответы следующие.

(1) *Реалистический тезис.* Физическая теория — это теория физических систем, то есть она занимается сущностями и событиями, которые, несомненно, имеют самостоятельное существование (*наивный реализм*), или же предполагается (допуская, что иногда это ошибочно), что они имеют самостоятельное существование (*критический реализм*). Одним словом, физическая интерпретация любой содержательной формулы в теоретической физике должна быть как *строгой* (в противоположность случайной), так и *объективной* (в противоположность субъективной). Каждое теоретическое утверждение в физике

является, таким образом, *утверждением о физическом объекте.*

(2) *Субъективистский тезис.* Физическая теория говорит нам об ощущениях (*сенсуализм*) или же об идеях (*субъективный идеализм*) некоторого субъекта, вовлеченного в познавательную деятельность. В любом случае она говорит нам о психических состояниях. Коротко говоря, физическая интерпретация любой формулы в теоретической физике должна быть как *строгой*, так и *субъективной*. Любое теоретическое утверждение в физике является, таким образом, *утверждением о психическом объекте.*

(3) *Строго копенгагенский тезис.* Любая физическая теория, или во всяком случае квантовая теория, говорит о неанализируемых блоках субъект — объект. Между двумя компонентами любого такого блока не может быть проведено никакого абсолютного (независимого от субъекта, объективного) различия. Граница между ними может перемещаться как угодно. Одним словом, физическая интерпретация каждой содержательной формулы в теоретической физике, или по крайней мере в квантовой теории, должна быть как *случайной* (в противоположность *строгой*), так и *физико-психической* (в отличие от только физической или только психической), ибо наблюдатели и условия их наблюдений должны усматриваться в каждой такой формуле, несмотря на то, что соответствующие переменные могут и отсутствовать. Каждое теоретическое утверждение в физике является, таким образом, *физико-психическим* утверждением.

(4) *Дуалистический тезис.* Физическая теория говорит как о физических объектах, так и о людях — действующих лицах. Она имеет отношение к взаимодействию людей с их окружением (*прагматизм*) или к способам обращения людей с системами, которые они намереваются познать (*операционализм*). Так или иначе, физическая интерпретация каждой формулы в теоретической физике, будет ли она *строгой* или *случайной*, должна быть *отчасти объективной, отчасти прагматической*. Каждое утверждение в теоретической физике является утверждением *частично о физическом, частично о психическом объекте.*

Реалистический тезис превалировал в классической физике и защищался Больцманом, Планком, а позднее

Эйнштейном и де Бройлем. Субъективистский тезис часто отстаивался Махом («элементы», или атомы, которого были ощущениями), а иногда также Эддингтоном и Шредингером. Копенгагенский тезис был выдвинут Н. Бором и защищался его верными последователями. Он был, скорее, символом веры, так как большинство из тех, кто провозгласил свою лояльность Копенгагенской школе, на самом деле колебались между (3) и (4) тезисами. Дуалистический тезис излагался в различных вариантах Пирсом, Махом, Динглером, Дьюи, Эддингтоном, Бриджменом, Динглом и Бором, а также сотнями авторов работ по теории относительности (которые отождествляли системы отсчета с наблюдателями) и квантовой теории (которые за наблюдателя принимали приборы). Четвертый тезис, несомненно, является ядром официальной философии физики (см. гл. 1), хотя он никогда не отстаивался с помощью тщательного анализа теоретических выражений.

Первые три тезиса являются *монистическими* в том смысле, что каждый из них утверждает метафизическую гомогенность (физическую, психическую или физико-психическую соответственно) класса референтов физической теории и, кроме того, несводимость его к сущностям другого вида.

Четвертый тезис является *дуалистическим* в том смысле, что он постулирует две взаимно несводимые субстанции. С математической точки зрения класс референтов теории, интерпретируемой в монистическом духе, является гомогенным в том смысле, что все индивиды, или члены, этого множества предполагаются относящимися к одному и тому же общему виду либо физическому, либо психическому, либо психофизическому (см. § 3.1). С другой стороны, класс референтов теории, интерпретируемой дуалистически, будет логической суммой двух или более множеств, из которых по меньшей мере одно представляет класс физических объектов, тогда как второе такое множество представляет наблюдателей (см. § 3.3 относительно невозможности осуществления дуалистической программы). Так, например, область функции абсолютной вероятности, которая имеет место в физической теории, будет интерпретироваться по-разному в различных семантических школах, встречающихся в философии физики: множество физических событий некоторого рода

(реализм), множество психических событий некоторого рода (субъективизм), множество иррациональных (неанализируемых, а следовательно, и непостижимых) феноменов некоторого вида (копенгагенская интерпретация) и множество пар: физическое событие — наблюдатель (дуализм).

Любой монистический тезис означает принятие той или иной гипотезы относительно существования некоторого вида сущностей: физических объектов, разума или психофизических комплексов. С другой стороны, дуалист, утверждая, что теория описывает как вещи, так и наблюдателей, отвергает признание *независимого* существования физических объектов, и поэтому стоит ближе к Копенгагенской доктрине. Он выдвигает методологический тезис, что утверждение относительно вещи в себе непроверяемо. И основываясь на верификационной доктрине значения, которая была модной сорок лет назад, приходит к заключению, что такое утверждение лишено значения. В таком случае прагматист не является ни реалистом, ни субъективистом, а, скорее, агностиком в духе Канта. И подобно философу — стороннику копенгагенской интерпретации, прагматист настаивает на том, что теоретические утверждения не имеют смысла, если они не сопровождаются описанием условий их эмпирической проверки. Но в отличие от копенгагенского философа дуалист проводит различие между субъектом и объектом и не иронизирует над попытками анализа их взаимодействия, хотя сам, возможно, и не имеет желания заниматься этим вопросом. Кроме того, дуалист не склонен признавать существование субстанции третьего вида, составленной из произвольной смеси объекта и субъекта.

Цитирование знаменитых авторов не поможет нам уяснить, какой из четырех предыдущих философских тезисов относительно содержания физических теорий является правильным, и не только потому, что аргументы в виде ссылок на авторитеты ничего не стоят, но также и потому, что, как мы видели ранее, каждый из приведенных выше тезисов пользовался поддержкой по крайней мере одного великого имени. Больше того, один и тот же автор мог одобрять два взаимно несовместимых тезиса в одном и том же произведении, не осознавая, видимо, их различие. Так, Мах и Дьюи колебались между субъективизмом и дуализмом, Бор, который начинал как

реалист, затем стал субъективистом¹, а позднее колебался между дуализмом (которого часто придерживается Гейзенберг) и строго копенгагенским тезисом. В конце концов Н. Бор, видимо, вернулся к реализму². Никакие общие философские дискуссии не могут здесь оказать существенной помощи, ибо объектом нашего исследования является частный случай человеческого познания. Следует лучше прямо взяться за дело и проанализировать физические теории и их компоненты (понятия и утверждения). Мы сделаем некоторый набросок такого анализа, апеллируя главным образом к квантовой теории, поскольку, хотя сама проблема и предшествовала этой теории, с ее рождением последняя стала наиболее острой.

2. Идентификация референта

2.1. Теоретико-экспериментальная дихотомия

Тезисы, изложенные в предыдущем параграфе, хотя и касаются референтов физической теории, все, кроме первого, реалистического тезиса, предназначены для того, чтобы охватить физику в целом, как теоретическую, так и экспериментальную. В самом деле, для последовательного субъективиста любая самостоятельная физическая формула является утверждением о психическом объекте. Для философа копенгагенской ориентации каждое такое выражение касается неразложимой композиции духа и тела; а для дуалиста каждый такой знак говорит как об объекте, так и о субъекте. С другой стороны, реалистический тезис констатирует, что, в то время как эмпирические утверждения (например, некоторые экспериментальные данные) действительно касаются и физического объекта, и наблюдателя (или группы наблюдателей), теоретические утверждения же не могут указывать на какого-либо субъекта. Задача теоретической физики состоит в объяснении мира таким, каков он есть, незави-

¹ См.: N. Bohr, *Atomic Theory and the Description of Nature*, Cambridge University Press, 1934; Н. Бор, *Атомная физика и человеческое познание*, М., 1961.

² См.: Н. Бор, *Квантовая физика и философия*, «Избранные научные труды», т. II, М., «Наука», 1971, стр. 526—532.

симо от чьих-либо восприятий или воздействий на него. Одним словом, из всех четырех тезисов только реалистический проводит семантическое различие между теоретической и экспериментальной физикой.

Более того, реалист, вероятно, укажет, что это различие позволяет ему провести границу между значением формулы и ее проверкой, то есть между двумя понятиями, которые едва ли различимы для философов как копенгагенской, так и дуалистической ориентации. И он мог бы добавить, что различие между теоретической и экспериментальной физикой дает возможность понять, почему теоретики работают только головой, тогда как экспериментаторы должны, кроме того, пользоваться каким-то оборудованием. Наконец, реалист может также сказать, что именно это различие необходимо для того, чтобы понять, почему теории не могут быть самопроверяемы (что имело бы место, если бы точка зрения субъективизма была верной) и почему любая эмпирическая проверка заключается в сопоставлении и критическом рассмотрении теоретических предсказаний, с одной стороны, и экспериментальных результатов — с другой. Во всяком случае, примем ли мы в конце концов точку зрения реализма или нет, нам следовало бы дать ему возможность для самозащиты, то есть согласиться провести различие между теорией и экспериментом, даже если мы впоследствии намереваемся отвергнуть существование такового различия.

Далее, теории представляют собой определенные множества утверждений (бесконечные дедуктивно замкнутые множества), и каждое физическое утверждение содержит по крайней мере одно физическое понятие, в противном случае его нельзя было бы квалифицировать как физическое утверждение. Поэтому наш семантический анализ физических теорий должен начинаться с анализа физических понятий. С таким же успехом можно было бы этим и закончить, ибо такой уровень анализа является необходимым и достаточным для выявления референта физической теории. Действительно, теория говорит о всех тех, и только тех предметах, на которые ссылаются понятия, используемые при построении теории. Мы не будем проводить здесь полное и систематическое исследование подобного рода, а ограничимся рассмотрением нескольких типичных примеров.

2.2. Референт физической величины

О так называемых физических количествах (или, скорее, величинах) говорят, что они «принадлежат» к некоторой физической системе или же должны «ассоциироваться» с ней. Ассоциация символа с вещью становится очевидной, когда необходимо назвать компоненты некоторой сложной системы, приписывая, например, им номера. Так, если n -я компонента системы обладает свойством P , то это может быть обозначено индексом P_n .

Эти неопределенные фразы можно пояснить с помощью двух основных понятий семантики: понятий референта и представления (representation). В самом деле, утверждая, что P «принадлежит к» или «ассоциируется с» некоторой физической системой определенного вида, мы имеем в виду следующее. Понятие (функция) P представляет физическое свойство (назовем его D) некоторой системы σ определенного вида, который мы назовем Σ . Следовательно Σ есть (предполагаемый) класс референтов понятия (функции) P . (Для сложных референтов обобщение элементарно.) Явная ссылка на референт напоминает о том, что в отличие от функций в чистой математике, функции теоретической физики могут иметь отношение к реальным физическим системам. В то же время явное указание на представление свойства D понятием P обращает наше внимание на возможность того, что одно и то же свойство (например, электрический заряд) может быть представлено в различных теориях альтернативными понятиями. Одним словом, P относится к Σ и представляет D . Все это будет разъяснено и проиллюстрировано.

Пусть P — некоторая функция, представляющая свойство D или, короче, $P \cong D$. Функция не будет хорошо определенной, если не даны область определения функции и множество ее значений. В простейшем случае некоторого инвариантного количественного свойства искомая функция будет «определена» на множестве элементов, интерпретируемых как некоторое число физических систем, которые отображаются в некоторое множество чисел. Областью определения этой функции будет либо множество индивидуальных систем (как в случае с зарядом), либо множество пар систем (как в случае с взаи-

модействием), или, вообще говоря, n -кратное количество физических систем. Эти множества, конечно, являются классами референции понятия P .

Пример 1. В классической электродинамике электрический заряд представлен функцией Q , отображающей множество Σ материальных систем в множестве R^+ неотрицательных вещественных чисел, то есть $Q: \Sigma \rightarrow R^+$. Действительно, дальнейшей «независимой переменной», встречающейся в Q , является именно система масштабов и единиц s , обычно точно определяемая контекстом формул, в которых встречается Q . Следовательно, корректный анализ классической функции электрического заряда приводит к следующему выражению:

$$(1) \quad Q: \Sigma \times S \rightarrow R^+$$

где S представляет множество всех мыслимых систем масштабов и единиц. Например, для $\Sigma =$ электронам и $s =$ электростатическим единицам по некоторой однородной метрической шкале¹ получают следующее утверждение в форме закона:

$$(2) \quad \text{Для каждого } \sigma \text{ в } \Sigma: Q(\sigma \text{ в единицах СГС}) = e = 4,802 \cdot 10^{-10}.$$

Во всяком случае, классом референтов Q является множество тел Σ .

Пример 2. Во всех физических теориях координата (или плотность координаты) некоторой точки физической системы (будь то тело или поле, классическая или квантовомеханическая система) представлена векторной функцией X элементарной системы, системы отсчета и времени. Одним словом, вновь предполагается однородная метрическая шкала

$$(3) \quad X: \Sigma \times F \times T \rightarrow R^3,$$

где F — множество физических систем отсчета, а T — множество моментов времени. Поскольку T не является вещью, класс референтов функции X в этом случае будет: $\Sigma \cup F$. Таково точное описание фразы «положение σ относительно системы f ».

¹ Относительно экспликации понятия физической шкалы см.: M. Bunge, *Scientific Research*, 2 vols. Springer-Verlag, New York, 1967.

Пример 3. Эффективное поперечное сечение для упругого рассеяния частицы вида A на частице вида B , обладающей импульсом k относительно системы отсчета f (например, центра масс системы), является функцией σ (обратите внимание на изменение в обозначении) на множестве четверок $\langle a, b, f, k \rangle$, где $a \in A$, $b \in B$, $f \in F$ и $k \in K$, отображающей их на действительную числовую ось. Короче говоря,

$$(4) \quad \sigma : A \times B \times F \times K \rightarrow R^+,$$

где K — множество значений импульса. Например, для $A =$ протонам, $B =$ нейтронам и $f =$ центру масс системы отсчета, мы имеем в первом приближении хорошо известную квантовомеханическую формулу

$$(5) \quad \sigma_{pN}^{cm}(k) = 4\pi/k^2.$$

Фактически предполагается система единиц СГС. В данном случае, класс референтов σ представляет собой $A \cup B \cup F$.

Наш семантический анализ пока что говорит в пользу монистической интерпретации. В самом деле, класс референтов физической величины, видимо, должен быть либо множеством систем, либо объединением множеств систем. Наблюдатель нигде не попадает в поле зрения. Более того, наш анализ опровергает Копенгагенскую доктрину, поскольку до сих пор не найдено никаких структур, в которых бы объединялись субъект и объект. Наш анализ оказывает поддержку только двум точкам зрения: реализму и субъективизму (см. § 2.2). Выбор между ними не может быть сделан только на основе нашего анализа, ибо для субъективиста не составит никаких трудностей идентифицировать с психическим объектом любую систему, которую мы называем «физической».

Только анализ научной деятельности в целом склоняет чашу весов в пользу реализма¹. Здесь же достаточны следующие рассуждения:

а) Каждый исследователь начинает с допущения незнания чего-то такого, что, как он пока только предварительно предполагает, должно существовать само по себе, ожидая когда его, так сказать, откроют.

¹ См.: M. Bunge, *Method, Model and Matter*, 1972.

б) Каждая должным образом сформулированная теория начинается с предположения, что класс референтов, с которым она имеет дело, не является пустым, так как в противном случае теория была бы правильной, но пустой. Но это не более чем (критическое) принятие гипотезы о том, что данная теория имеет реальные референты.

в) Независимо от того, какие субъективистские фантазии позволяет себе теоретик в популярных статьях, экспериментатор обязан применять реалистический подход к своим экспериментальным установкам, объектам своих исследований и даже к своим коллегам.

Как мы упомянули раньше, понятие наблюдателя отсутствует в теоретической физике, но входит в физику экспериментальную. Так, вместо свободной от наблюдателя формулы (2), мы находим в экспериментальной физике утверждения, подобные следующему: «Величина (в единицах системы СГСЭ) заряда электрона e , как было измерено экспериментальной группой g с помощью метода t и инструментального комплекса i , равна $(4,802 \pm 0,001) \times 10^{-10}$ ». Короче говоря, вместо формулы (2) мы теперь имеем:

(2') для каждого σ в множестве Σ , исследованного экспериментальной группой $g: Q'(\sigma, \text{СГС}, g, t, i) = (4,802 \pm 0,001) \times 10^{-10}$, где Q' — функция, значения которой — измеренные величины электрического заряда. Отметим, что Q' отличается от Q (теоретического понятия) не только численно, но также и по структуре; это уже *иное понятие*. Действительно, в то время как Q является функцией на множестве $\Sigma \times S$, Q' «определяется» на множестве $\Sigma \times S \times G \times T \times I$, где G есть множество экспериментальных групп, T — множество способов измерения заряда, а I — множество установок для измерения заряда. Фактически в экспериментальное понятие заряда включается шестая «независимая переменная», а именно o — последовательность операций, посредством которых некоторая данная техника t выполняется группой g с помощью инструментального комплекса i . То, что o не является ложной или пустой переменной (в смысле § 1 и 2), демонстрируется тем фактом, что изменение ее значения обычно приводит и к различиям в численных результатах. Обозначая через O множество всех таких последова-

тельностью операций, мы в конце концов получаем в отличие от (1):

$$(1') \quad Q' : \Sigma \times S \times G \times T \times I \times O \rightarrow P(R^+),$$

где $P(R^+)$ есть множество всех интервалов из R^+ .

Теперь из предшествующего анализа можно с уверенностью сделать следующий вывод. *Если теоретические формулы свободны от наблюдателя, то экспериментальные формулы зависят от него.* Точнее говоря, любая строгая интерпретация теоретической формулы является *объективной* (то есть она излагается с помощью физических понятий), тогда как экспериментальная физика требует *прагматической переинтерпретации* той же самой формулы. Если такая прагматическая интерпретация переносится на теоретическую формулу, то, хотя она и является случайной (возможно, и обоснованной), она представляет собой уже строгую интерпретацию в некотором экспериментальном контексте, то есть подтверждается путем замены ее некоторой экспериментальной формулой (такой как (1')) для своего теоретического партнера (например, (1)).

Как копенгагенская, так и дуалистическая интерпретации физических теорий возникают на основе смешения теоретических и экспериментальных понятий, хотя последние основываются на первых и являются более сложными, чем их теоретическая основа. (В частности, теоретическая функция может рассматриваться как ограничение некоторым множеством соответствующих измеримых значений функции. Так, величина Q в формуле (1) является ограничением величины Q' в формуле (1') до $\Sigma \times S$.) Это смешение не предосудительно с точки зрения философа копенгагенской ориентации, для которого все неискоренимо иррационально в своей основе, но разрушает главную цель дуалиста — желание избежать платонизма. Действительно, если каждой теоретической формуле приписывается прагматическая интерпретация, то становится невозможным противопоставить теорию эксперименту так, чтобы иметь возможность проверить теорию и спланировать эксперимент. Более того, поскольку прагматическая интерпретация в большинстве своем случайна, она более всего подвержена произволу. Каждый получает право толковать любые формулы как пожелает независимо от их структуры. Семантика

не будет иметь никакой синтаксической поддержки. Реалистическая и субъективистская интерпретации свободны от этих недостатков. Если мы отбрасываем субъективизм по причинам, о которых ранее уже говорилось, то единственным жизнеспособным направлением оказывается реализм. В таком случае нам следует принять *строгую и объективную* интерпретацию каждой теоретической формулы. Посмотрим, как этот подход выглядит в квантовой теории, которая, как часто утверждают, опровергает реализм (и причинность).

2.3. Вектор состояния

В принципе все согласны с тем, что вектор состояния волновой функции ψ представляет собой амплитуду вероятности (то есть квадрат его модуля есть плотность вероятности). Кроме того, эта «статистическая» по Максиму Борну (а фактически вероятностная, или стохастическая) интерпретация функции ψ может быть доказана на основании определенного множества постулатов. По этой причине она не является интерпретацией *ad hoc*. Следовательно, ее можно избежать, оставаясь в то же время в рамках стандартного формализма квантовой механики¹. С другой стороны, нет согласия в том, амплитудой вероятности чего является ψ . Одни относят функцию ψ к некоторой индивидуальной системе, другие — к некоему действительному или потенциальному статистическому ансамблю тождественных систем; третьи рассматривают ψ -функцию как меру нашей информации, или степень уверенности относительно состояния некоторого индивидуального комплекса, состоящего из микросистемы и прибора, или же, наконец, просто как каталог измерений, производимых над множеством идентично приготовленных микросистем². Вообще говоря, стало обычным делом приписывать функции ψ различные интерпретации, не обращая внимания на их соответствие структуре данной функции и не убедившись

¹ См.: M. Bunge, «Foundations of Physics», Springer-Verlag, New York, 1967, p. 252, 262.

² Критический обзор ряда интерпретаций вектора состояния см. в: M. Bunge, «American Journal of Physics», 1954, vol. 24, p. 272; M. Bunge, «Metascientific Queries», Charles C. Thomas, Publ., Springfield, 1959.

в том, какой именно вклад вносит та или иная интерпретация в логичность и истинность теории.

Можно, однако, избежать произвольности, присущей случайным интерпретациям функции ψ , и выявить ее подлинные референты. Ключом к решению этого вопроса, несомненно, является оператор Гамильтона H , поскольку, согласно основному закону квантовой механики (уравнение Шредингера или его операторный эквивалент), именно оператор H «управляет» (*drives*) во времени эволюцией функции ψ . Далее, H определяется не чем-то данным свыше, но именно тем, что мы намерены описать: состояние атома углерода, молекулы ДНК и т. д. — и так в любой гамильтоновой теории, классической или квантовой. Начнем с формулирования утверждений или гипотез о предметах или сущностях, к которым относится оператор H , а следовательно, и функция ψ . Некоторые из этих утверждений окажутся истинными (приближенно), другие ложными, но такова уж жизнь теорий.

Рассмотрим математически простейший (однако семантически наиболее проблематичный) случай: одно-«частичную» (или лучше одноквантовую) квантовую механику. Если при определенной интерпретации основных символов формализм окажется истинным, то все в целом, и формализм и семантика, будут рассматриваться как истинные относительно таких индивидуальных систем, даже если их эмпирическая проверка и требует введения обладающего чувствами человека, манипулирующего (непосредственно или посредством чего-либо) большими совокупностями микросистем. В этой теории оператор H , а следовательно, и функция ψ зависят от времени, а также от двух множеств динамических переменных, относящихся к интересующей нас микросистеме (например, к атому серебра) и к окружению системы (например, магнитному полю). Если предполагается, что макросистема не оказывает влияния на данную микросистему, то есть последняя предполагается независимой, то в гамильтониане (и, следовательно, в векторе состояния) мы не встретим никаких макропеременных независимо от того, что говорится *ad hoc* о наблюдателях или измерительных установках. Поэтому, когда утверждают, что гамильтониан в действительности имеет отношение к разуму, или композиции души и тела, или к ком-

плексу микросистема — прибор, несмотря на отсутствие в нем соответствующих макропеременных, то эти утверждения оказываются произвольными и имеющими в своей основе лишь некоторую веру, не более. Любая такая интерпретация, не согласующаяся с синтаксисом H и ψ , является случайной; она содержит пустые или бесполезные переменные, обладая тем самым свойством призрака. Как формализм (элементарной и нерелятивистской) квантовой механики, так и множество ее применений (например, к описанию молекул) подтверждает именно такой анализ любого вектора состояния:

$$(6) \quad \psi : \Sigma \times \bar{\Sigma} \times E^3 \times T \rightarrow C,$$

где Σ — множество микросистем, $\bar{\Sigma}$ — множество макросистем, E^3 — обычное (евклидово) пространство, T — множество временных значений аргумента функции, а C — плоскость комплексной переменной. Следовательно, класс референтов этой теории представляет собой $\Sigma \cup \bar{\Sigma}$, то есть объединение всех микросистем и макросистем. Любая иная интерпретация не имеет никакого фундамента, кроме изречений знаменитых ученых и их философских апологетов¹.

2.4. Вероятность

Из всех случайных интерпретаций вектора состояния наиболее эластичной является субъективистская или близкая к субъективистской интерпретации, так что на нее стоит обратить внимание и рассмотреть некоторые ее детали. Распространенным аргументом в пользу тезиса, что ψ -функция должна быть субъективной или по крайней мере таковой частично, является следующий: «Вектор состояния имеет только вероятностное значение (это положение верное). Далее, вероятности описывают только психические состояния; величина вероятности может быть лишь мерой нашей убежденности или мерой точности нашей информации (а это положение

¹ Богатое собрание высказываний авторитетов в поддержку копенгагенской интерпретации и возвращения к идеям Бора см. в статье Р. К. Феуегабенд, *Philosophy of Science*, v. 35, 1968, p. 302. С критикой этих высказываний можно ознакомиться по работе С. А. Ноокер, in R. G. Colodny (ed.), *Paradignis and Paradoxes*, Pittsburgh University Press, Pittsburgh, 1972.

является неверным). Следовательно, вектор состояния описывает только наш разум, а не независимые от него физические системы (*и это положение является неверным*)». Итак, аргумент обоснован, но вывод из него ошибочен, поскольку вторая посылка ложна. Задача стохастических теорий физики в действительности состоит в вычислении *физических* вероятностей (например, вероятностей перехода или поперечных сечений рассеяния) и статистических свойств (средних значений, средних разбросов и т. д.) физических систем, а не психических событий. Во всяком случае, удивительно, что такие ученые, как Бор, Борн, Гейзенберг и фон Нейман, которые часто, или даже всегда, принимали субъективистскую интерпретацию вероятности, полагали в то же самое время, что они преодолели классический детерминизм, существенным ингредиентом которого является тезис, что вероятность есть иное наименование нашего незнания. По-видимому, с тех пор, как появились статистическая физика и статистическая биология, мы должны признать случайность в качестве объективного способа становления ранее лишь совокупностей, а теперь также и индивидуальных сущностей. Во всяком случае, субъективной интерпретации вероятностей, предполагающей классический детерминизм, нет места в физике.

Следует ли интерпретировать вероятности как физические свойства наравне с длинами и плотностями или нет — это вопрос не мнения, а математического и синтаксического анализа. Только исследование независимой переменной (переменных) функции вероятности может показать, интерпретировать ли данную функцию в качестве физического свойства или как состояние разума или же отнести ее к некоторому комплексу вещь — разум. Хотя такой анализ и выявляет возможные интерпретации, он недостаточен для того, чтобы обнаружить, какая из них является приемлемой. Последнее возможно лишь в том случае, если вероятностное исчисление или, вернее, весь формализм в целом, включающий это исчисление, станет фактуально истинным при данной интерпретации. Это снова вопрос не вкуса или принадлежности к философской школе, не произвольного решения, а вопрос, который должен быть решен путем анализа и эксперимента.

Возьмем, например, выражение ' $P_r(x) = r$ ', где ' P_r ' обозначает функцию вероятности, а r относится к интер-

валу вещественных чисел $(0,1)$. Если x обозначает физический объект, такой, как некоторое состояние или изменение этого состояния, то $P_r(x)$ будет свойством этого объекта, и любые ссылки на наблюдателей, их операции, состояния их разума будут излишними. Только в том случае, если x символизирует некоторое психическое событие, ' $P_r(x)$ ' будет обозначать нечто психическое. Там, где имеется одна-единственная независимая переменная, нет места для двух-референтов, например для физического и психического объектов. Абсолютные (безусловные) вероятности оказываются в таком случае недоступными для строгой прагматической интерпретации в терминах как объектов, так и действующих лиц. Для того чтобы пристегнуть субъекта, нужна добавочная переменная. Эту возможность нам дают условные вероятности.

Выражение ' $P_r(x|y) = r$ ', которое читается как 'вероятность x при заданном y равна r ', можно было бы интерпретировать либо объективистским, либо субъективистским, либо дуалистическим образом (а именно как выражение, имеющее отношение к паре вещь — субъект). Например, если контекст, или лучше явная интерпретация правил и допущений, указывает на то, что x обозначает физический объект (например, состояние или событие), а y — наблюдателя, то « $P_r(x|y)$ » может читаться как вероятность наступления физического события x при условии присутствия наблюдателя y , или при условии, что произойдет психическое событие y , или же в какой-либо иной дуалистической манере. Но, как отмечалось ранее, любая такая интерпретация будет законной только в том случае, если: а) теория содержит обе независимые переменные и специфицирует их и б) теоремы, относящиеся к условной вероятности, при данной интерпретации подтверждаются, то есть удовлетворительно подтверждаются наблюдениями. Фактически существует еще и третье условие, с которым также приходится сталкиваться, а именно условие уместности (relevance). Всегда можно добавить переменную, связанную с наблюдателем, но если эта переменная ничего не меняет, а ее свойства не специфицируются теорией, то такая переменная будет пустой или ложной. Однако достаточно о строгой интерпретации вероятности.

Прагматическая интерпретация всегда возможна и часто просто необходима даже для безусловных (или

абсолютных) вероятностей, но она никогда не бывает строгой, то есть не «вытекает» из формул, а накладывается на них способом, выходящим за рамки физической теории. Под этим я подразумеваю следующее. Несомненно, некоторые значения вероятностей должны быть кем-то проверены либо теоретическим путем, либо эмпирическим, либо и тем и другим так, что в результате получается высказывание следующего вида: «величина вероятности r для события x была проверена наблюдателем y посредством z ». Но это высказывание не принадлежит к теории. Оно не квалифицируется как строгая интерпретация формулы « $P_r(x) = r$ ». Нечто подобное имеет место для любого физического свойства, а не только для вероятности. Например, высказывание: «Расстояние между конечными точками x и y данного тела z , как было измерено наблюдателем u с помощью средств v , равно $r \pm \epsilon$ ». Итак, данному теоретическому утверждению со строгой физической интерпретацией может быть приписано любое число случайных прагматических интерпретаций. Но ни одно из них не принадлежит к теории, точно так же как ни один из живущих на дереве паразитов не является частью дерева. Популярное операционалистское утверждение, что только прагматические высказывания имеют значение, поскольку приписывание значений требует ссылки на эмпирические операции, основывается на смешении значения и верификации, смешении, которое давно было выяснено философами.

2.5. Интерпретация и нахождение вероятностей

Широко распространено мнение, что частотная интерпретация вероятностей, то есть интерпретация значений вероятности как относительных частот, и есть то, что необходимо науке. Но это не совсем так. В самом деле, когда мы истолковываем вероятности в терминах относительных частот, мы осуществляем не строгую интерпретацию, а скорее вычисление или (статистическую) *оценку* (estimation), то есть мы не утверждаем, что вероятности означают частоты, а считаем только, что их можно (иногда) измерять с помощью частот. В этом отношении вероятность не отличается от любой другой физической величины. Она представляет собой конструкт,

числовое значение которого должно сопоставляться с измеряемой величиной. Более того, так же как не существует никакой уникальной измерительной техники для любой данной физической величины, так не существует и единственного пути вычисления вероятностей из статистических данных. Иногда вероятность оценивают с помощью частот, в других случаях ее мерой является энтропия или интенсивность спектральных линий, или поперечные сечения рассеяния и так далее. Именно та теория, которая содержит в себе понятие вероятности, должна предлагать и способ ее вычисления (что обычно не имеет места). В большинстве случаев для того, чтобы найти вероятности из эмпирических данных, необходимы дополнительные теории. Это справедливо и для вероятности, и по отношению к другим свойствам (см. гл. 10).

Существуют пять дополнительных оснований для отрицания не только частотных теорий вероятности (подобно теориям Мизеса и Рейхенбаха), плохо обоснованных уже с точки зрения самой математики, но также и частотной интерпретации вероятности. Во-первых, то, что в физике имеется в виду под выражением ' $P_r(x) = r$ ', в ряде случаев означает нечто вроде силы или степени (измеряемой числом r) некоторой тенденции наступления события x , причем совершенно независимо от того, как часто это событие случалось наблюдать (фактически). Последний подсчет будет служить целям проверки формулы вероятности, а не для приписывания ей значения. Во-вторых, если вероятности могут быть свойствами индивидуальностей (например, событий), то частоты представляют собой коллективные свойства, то есть свойства статистических ансамблей. В-третьих, частоты не удовлетворяют точно формулам теории вероятности даже в достаточно длинном ряду (испытаний), который всегда конечен. (Напомним, что частоты не приближаются к вероятностям. С возрастанием числа испытаний уменьшается только вероятность любого заданного отклонения частоты от соответствующей вероятности. Однако эта теорема справедлива только для специального вида случайных процессов, а именно схемы независимых испытаний Бернулли. Более того, второй порядок вероятности, с которым имеет дело теорема, сам не сводим к частоте.)

В-четвертых, вероятность и частота *не являются одинаковыми функциями*, поскольку первая (если это абсолютная, или безусловная, вероятность) определяется относительно некоторого множества E , тогда как вторая — для каждой процедуры выборки s на конечном подмножестве E^* множества E . (Короче говоря, $P_r: E \rightarrow [0, 1]$, тогда как $f: E^* \times S \rightarrow F$, где S есть множество выборок, а F — совокупность случаев, выпавших за единичный интервал времени.) Следовательно, неверно, что при интерпретации величины вероятности как наблюдаемых относительных частот получают модель, или истинную интерпретацию вероятности. В этом случае мы имеем самое большее некоторую *квазимодель*. В-пятых, если стохастическая теория (например, статистическая механика, квантовая механика, генетика или некоторые стохастические модели обучения) построена таким образом, что дает в итоге частоты, то нет смысла осуществлять какие-либо измерения с целью проверки теоретических формул. (Аналогично обстоит дело и с другими физическими понятиями, например с понятием собственного значения оператора, представляющего некоторое физическое свойство. Если бы собственные значения интерпретировались в качестве измеренных величин, как это делается в ортодоксальной школе, то не было бы смысла выполнять какие-либо фактические измерения.) Как теория, так и эксперимент совершенно необходимы именно потому, что они радикально отличаются друг от друга. Теория — это не сумма экспериментов, и любая совокупность экспериментов не заменяет теорию. Чтобы получить новый элемент знания, необходимо применение их обоих.

Итак, ни субъективистская, ни дуалистическая интерпретации вероятности в теоретической физике не имеют места. Для нее характерны следующие строгие и объективистские интерпретации: диспозиционная интерпретация вероятности как *предрасположенности* (propensity interpretation) Поппером¹ и интерпретация вероятности как *беспорядочности, хаотичности* (randomness interpretation). Согласно первой интерпретации, величина вероятности есть мера степени предрасположенности на-

¹ К. Р. Поппер, «British Journal for the Philosophy of Science», 1959, vol. 10, p. 25.

ступления какого-либо события. Вероятность — это количественно определенная потенциальность, отнесенная к физическим системам, простым или сложным, независимым или находящимся под воздействием других систем и, в частности, под наблюдением или нет. (Точнее говоря, это моя собственная версия интерпретации вероятности как тенденции¹.) Поппер² относит свою интерпретацию к объекту вместе с экспериментальной установкой. Его версия представляется ошибочной, поскольку она основывается на тезисе Бора о неразрывном единстве того и другого, тезисе, который фактически разделяется и Фейерабендом³. В личной беседе Сэр Карл выразил согласие с моей реинтерпретацией⁴. Согласно второй интерпретации, вероятность представляет собой вес некоторого события из случайной совокупности (например, цепи Маркова).

Согласно любой интерпретации, вероятность некоторого события представляет собой нечто объективное, внутренне свойственное вещам. Соответственно и распределение вероятностей интерпретируется как некоторое объективное (скорее потенциальное, а не актуальное) свойство физической системы. Различие между этими интерпретациями вероятности состоит в том, что первая шире, ибо она не требует, чтобы события были случайными, тогда как вторая интерпретация справедлива только для случайных событий и поэтому требует критерия, позволяющего определить, является ли данное множество событий случайным или нет. Иными словами, интерпретация вероятности с помощью понятия случайности может рассматриваться и как интерпретация ее в качестве тенденции, но ограниченной подмножеством случайных событий. Согласно любой интерпретации, вероятность, скажем, перехода от одного состояния системы к другому является столь же объективной, как и его скорость. Она никоим образом не связана с незнанием или неопределенностью или, наоборот, со степенью

¹ В чем можно убедиться по моей работе: M. Bunge, in M. Bunge (ed.) *Quantum Theory and Reality*, Springer-Verlag, New York, 1967.

² K. R. Popper, in M. Bunge (ed.) *Quantum Theory and Reality*.

³ P. K. Feysabend, «*Philosophy of Science*», 1968, vol. 35.

⁴ См. интересное обсуждение этого вопроса Сеттлом: T. W. Settle, in P. A. Schilpp (ed.) *The Philosophy of Karl Popper*, 1971.

нашей уверенности (которая часто бывает излишней). Обе эти интерпретации мы будем называть *физической вероятностью*.

Независимо от того, как относиться к понятию тенденции, вероятности, с которыми мы сталкиваемся в физике, следует рассматривать как физические свойства на равных началах с внутренним напряжением и напряженностью электромагнитного поля.

Основание для этого следующее. Все независимые переменные функции вероятности в физической теории символизируют физические системы или их свойства. Даже время — эта наименее осязаемая из всех физических переменных — может быть объяснено с помощью событий и систем отсчета¹. Не существует путей для введения наблюдателя и его разума в теоретико-вероятностные высказывания. Если, например, утверждать, что квантовая механика занимается не автономными системами, а комплексами, состоящими из микросистемы, экспериментальной установки (пожалуйста, но какой?) и ее оператора, то это, во-первых, просто неверно, ибо большинство квантовомеханических формул касается микросистем, находящихся в чисто физической среде (которая очень часто просто отсутствует). Этот вопрос решается не общими декларациями, а анализом соответствующих формул, анализом, который нельзя довести до конца без использования столь неприятного для врагов ясности аксиоматического метода. Во-вторых, формулы, которые описывают комплекс объект — окружение (например, молекула в некотором электрическом поле), не удается соотнести с наблюдателем как некоторой психофизической сущностью. В противном случае квантовая теория имела бы возможность предсказывать нам не только поведение микросистемы, но и поведение наблюдателя, чего, к сожалению, она не делает. Итак, мы не находим никаких оснований для утверждений, что в теоретическую физику, в частности в квантовую теорию, с помощью вероятности и вектора состояния вводится обладающий сознанием субъект. И если этот путь исключен, то довольно трудно понять, как он вообще может туда войти.

¹ M. Bunge, «Philosophy of Science», 1968, vol. 35, p. 355.

3. Отличие прибора от наблюдателя

3.1. Подходы к теории измерений

Многие авторы описывают измерение как некоторое взаимодействие между объектом и наблюдателем или даже как их синтез. Но в то время как одни авторы под «наблюдателем» имеют в виду познающего субъекта с полным набором его психических способностей, другие понимают под наблюдателем классически описываемые приборы, а третий предпочитают вообще ничего не говорить на этот счет, сохраняя таким образом неопределенность. Если не проводить различия между экспериментальным оборудованием и самим наблюдателем и наделять его сверхфизическим разумом (например, бессмертной душой), то в этом случае измерение становится воротами, через которые душа и дух входят не только в действия, осуществляемые в ходе физического исследования, но наполняют и сами вещи, которые уже тем самым перестают быть вещами в себе. И действительно, стандартный аргумент против реализма исходит именно из природы микрофизического измерения. Рассмотрим поэтому теорию последнего или, точнее — различные программы ее построения, поскольку имеется несколько таких программ, ни одна из которых не была выполнена полностью. Это необходимо сделать не только в интересах эпистемологии, но также и в интересах физиков-экспериментаторов, так как если физики неотделимы от экспериментального оборудования, то им либо не следовало бы платить зарплату, либо не выделять никаких средств на приобретение и содержание экспериментальной аппаратуры.

В литературе можно найти следующие основные подходы к квантовомеханической теории измерений.

(1) *Наивный реализм*: (а) исходные измерения имеют непосредственный смысл, то есть не нуждаются в теориях; (в) производные, или косвенные измерения, могут быть обоснованы с помощью имеющихся в распоряжении физических теорий и математической статистики; (с) заключение: нет необходимости в специальных теориях измерения. *Критические замечания* смотри в следующем разделе.

(2) *Критический реализм*: (а) не существует никаких непосредственных точных измерений вообще, и в частности в микрофизике; (в) любая детальная теория измерения физической величины (например, измерение времени) или приготовление физической системы (например, протонного пучка с данным распределением по скоростям) требуют как ряда общих теорий, так и определенной модели экспериментального оборудования (например, теория циклотрона построена на основе классической электродинамики, или, если угодно, она является частью релятивистской технологии); (с) поскольку измерения всегда конкретны и специфичны и включают макрофизические системы; то подлинные теории измерений (в отличие от надуманных, которые можно найти в некоторых книгах по квантовой механике) должны иметь по существу частный характер и не включать фрагменты классических теорий (например, классическую механику и оптику); (d) нельзя построить адекватную *общую* теорию измерения ни в классической, ни в квантовой физике; возможность создания такой теории сомнительна, поскольку не существует никаких общих измерений, и каждое макроскопическое событие пересекает несколько границ между различными главами физики. В этом, собственно говоря, и состоит основной тезис данной книги.

(3) *Наивный операционализм* (учебник философии): (а) каждая физическая теория, в частности квантовая механика, имеет отношение к действительным или возможным измерительным операциям и их результатам. Например, оператор Гамильтона представляет измерение энергии, а его собственные значения являются измеримыми значениями энергии; (в) следовательно, нет никакой необходимости в специальной теории измерения.

Критические замечания: (i) существует как структурное, так и семантическое различие между теоретической величиной и ее экспериментальным партнером, если таковой вообще имеется (вспомним § 2.2); (ii) если бы общие теории имели отношение к эмпирическим наблюдениям, то что-то из них было бы излишним: либо теории, либо наблюдения, а выбор экспериментального оборудования не имел бы никакого значения,

(4) *Радикальный операционализм*¹: (а) базисные измерения являются непосредственными; (в) фундаментальная теория, такая, как, например, квантовая механика, должна иметь отношение к базисным измерениям и быть выводимой из анализа физики измерений.

Критические замечания: (i) непосредственных измерений (по крайней мере микросистем) не существует (смотри выше критику наивного реализма); (ii) научный анализ, будь то анализ понятий или анализ операций, отнюдь не является внесистемным,² а осуществляется с помощью теорий; (iii) в частности, анализ измерения опирается на совокупность как субстантивных теорий (substantive) (например, теория электромагнитного поля), так и на целый ряд прикладных методов обработки экспериментальных данных (в частности, математическую статистику).

(5) *Строго копенгагенская точка зрения*²: (а) процесс измерения — это процесс, в котором сливаются в одно целое объект, прибор и наблюдатель, которые таким образом теряют свою индивидуальность; (в) это единство свойственно исключительно квантовым феноменам, которые, следовательно, являются неанализируемыми; (с) «Формальный аппарат квантовой механики допускает однозначное применение только к такого рода завершенным явлениям»³; (d) если бы теория измерений попыталась анализировать такое единство, устанавливая различие между субъектом и объектом и выявляя точную форму их взаимодействия, то в таком случае она разрушила бы ту несводимость и иррациональность, которая характеризует квантовые феномены; (е) следовательно, не нужно пытаться строить квантовую теорию измерений⁴.

Критические замечания: (i) хотя акт измерения включает в себя наблюдателя (а также и ряд других вещей), физика есть наука не о мыслящих существах, а о физических системах, которые в эксперименте иногда находятся под контролем, иногда независимы и во всяком

¹ G. Ludwig, in: M. Bunge (ed.) *Quantum Theory and Reality*.

² Н. Бор, *Атомная физика и человеческое познание*, М., 1961.

³ Н. Бор, *Единство знаний*, — «Избранные научные труды», т. II, М., «Наука», стр. 487.

⁴ L. Rosenfeld, in L. Infeld (ed.) *Proceedings on Theory of Gravitation*, Gauthier — Villars, Paris, 1964.

случае лишены психических компонентов; (ii) было бы желательно построить квантовые теории реальных (а следовательно, и специфических) процессов измерения, теории, способные объяснить и предсказать всю цепь событий, начиная с какого-либо элементарного события (например, фотохимической реакции) и заканчивая некоторым наблюдаемым макрособытием (например, почернением фотопластины).

(б) *Точка зрения фон Неймана*¹: (а) процесс измерения представляет собой взаимодействие между объектом и субъектом, причем граница между ними произвольна (то есть место проведения этой границы определяется чисто конвенциональным способом); (в) вместо того чтобы быть приложением квантовой механики и других физических теорий, квантовая теория измерения требует ограничить основной постулат квантовой механики (уравнение Шредингера или его эквивалент), дополняя его постулатом проектирования, согласно которому измерение некоторой наблюдаемой переводит вектор состояния в один из собственных векторов рассматриваемой наблюдаемой; (с) полученная таким образом теория измерений является достаточно общей, и, кроме того, она придает квантовой механике ее операциональное значение. Поскольку предполагается, что эта точка зрения является стандартной, остановимся на ней подробнее.

3.2. Стандартное описание измерения

Общепринятое описание процесса измерения принадлежит фон Нейману. Оно изложено в книге «Математические основы квантовой механики», в которой сказано, хотя и неверно, почти все необходимое для аксиоматического и непротиворечивого формулирования квантовой механики. Видимо, именно здесь наблюдатель впервые стал основной фигурой в описании экспериментальных ситуаций. Фон Нейман ясно сказал, что под наблюдателем он имеет в виду не только измерительный прибор, но и человека, обладающего «субъективным восприя-

¹ И. фон Нейман, Математические основы квантовой механики, М., 1964.

тием»¹. Он даже предполагал, что необходимо использовать доктрину психофизического параллелизма. Фон Нейман также настаивал на том, что граница между наблюдателем и наблюдаемой системой может произвольно смещаться². Точнее говоря, он предлагал разделить мир на три части: I — наблюдаемая вещь, II — измерительный прибор и III — наблюдатель. Граница, утверждал он, может быть проведена либо между I и составной системой II + III, или между физическим комплексом I + II и психофизической сущностью III. В каждом случае (а) измерение рассматривается как нечто совершенно отличное, скажем, от действия внешнего магнитного поля на спиновую микросистему — именно в силу непредсказуемого вмешательства сознания, и (в) измерительный процесс не может быть ни контролируемым, ни полностью сводимым к физике, ибо он включает в себя субъективную апперцепцию и произвольный выбор³.

Активная роль в исходе измерения, которая здесь приписывается сознанию наблюдателя, лучше всего выявляется на примере следующей воображаемой процедуры, которую можно было бы назвать методом *tempus interrupta* (прерванного измерения). Вы настраиваете экспериментальную установку на измерение данной величины на каком-то объекте определенного вида и продолжаете манипулировать с приборами, но воздерживаетесь от того, чтобы считывать с них окончательные данные. Спустя некоторое время вы бросаете монету, если монета выпадет вверх гербом, вы смотрите на стрелку прибора и регистрируете его положение, если же выпадет решетка, вы уходите из лаборатории. Если вы субъективист, то вы не будете проводить различие между *физическим* событием, заключающимся в том, что стрелка прибора пришла в состояние покоя на некотором делении, и психическим фактом осознания указанного *физического* события. Более того, вы откажетесь поверить, что существует такая вещь, как независимое физическое событие. В этом случае вы обязаны сделать вывод, что исход измерения, то есть значение рассматри-

¹ Там же, стр. 307.

² Там же, стр. 308.

³ Там же.

случае лишены психических компонентов; (ii) было бы желательно построить квантовые теории реальных (а следовательно, и специфических) процессов измерения, теории, способные объяснить и предсказать всю цепь событий, начиная с какого-либо элементарного события (например, фотохимической реакции) и заканчивая некоторым наблюдаемым макрособытием (например, почернением фотопластины).

(б) *Точка зрения фон Неймана*¹: (а) процесс измерения представляет собой взаимодействие между объектом и субъектом, причем граница между ними произвольна (то есть место проведения этой границы определяется чисто конвенциональным способом); (в) вместо того чтобы быть приложением квантовой механики и других физических теорий, квантовая теория измерения требует ограничить основной постулат квантовой механики (уравнение Шредингера или его эквивалент), дополняя его постулатом проектирования, согласно которому измерение некоторой наблюдаемой переводит вектор состояния в один из собственных векторов рассматриваемой наблюдаемой; (с) полученная таким образом теория измерений является достаточно общей, и, кроме того, она придает квантовой механике ее операциональное значение. Поскольку предполагается, что эта точка зрения является стандартной, остановимся на ней подробнее.

3.2. Стандартное описание измерения

Общепринятое описание процесса измерения принадлежит фон Нейману. Оно изложено в книге «Математические основы квантовой механики», в которой сказано, хотя и неверно, почти все необходимое для аксиоматического и непротиворечивого формулирования квантовой механики. Видимо, именно здесь наблюдатель впервые стал основной фигурой в описании экспериментальных ситуаций. Фон Нейман ясно сказал, что под наблюдателем он имеет в виду не только измерительный прибор, но и человека, обладающего «субъективным восприя-

¹ И. фон Нейман, Математические основы квантовой механики, М., 1964.

тием»¹. Он даже предполагал, что необходимо использовать доктрину психофизического параллелизма. Фон Нейман также настаивал на том, что граница между наблюдателем и наблюдаемой системой может произвольно смещаться². Точнее говоря, он предлагал разделить мир на три части: I — наблюдаемая вещь, II — измерительный прибор и III — наблюдатель. Граница, утверждал он, может быть проведена либо между I и составной системой II + III, или между физическим комплексом I + II и психофизической сущностью III. В каждом случае (а) измерение рассматривается как нечто совершенно отличное, скажем, от действия внешнего магнитного поля на спиновую микросистему — именно в силу непредсказуемого вмешательства сознания, и (в) измерительный процесс не может быть ни контролируемым, ни полностью сводимым к физике, ибо он включает в себя субъективную апперцепцию и произвольный выбор³.

Активная роль в исходе измерения, которая здесь приписывается сознанию наблюдателя, лучше всего является на примере следующей воображаемой процедуры, которую можно было бы назвать методом *tempus interrupta* (прерванного измерения). Вы настраиваете экспериментальную установку на измерение данной величины на каком-то объекте определенного вида и продолжаете манипулировать с приборами, но воздерживаетесь от того, чтобы считывать с них окончательные данные. Спустя некоторое время вы бросаете монету, если монета выпадет вверх гербом, вы смотрите на стрелку прибора и регистрируете его положение, если же выпадет решетка, вы уходите из лаборатории. Если вы субъективист, то вы не будете проводить различие между *физическим* событием, заключающимся в том, что стрелка прибора пришла в состояние покоя на некотором делении, и психическим фактом осознания указанного *физического* события. Более того, вы откажетесь поверить, что существует такая вещь, как независимое физическое событие. В этом случае вы обязаны сделать вывод, что исход измерения, то есть значение рассматри-

¹ Там же, стр. 307.

² Там же, стр. 308.

³ Там же.

ваемой величины, зависит от сознания наблюдателя. Предположим далее, что вы придерживаетесь операционалистского догмата, согласно которому вычисленные значения представляют собой возможные величины измерений. В этом случае вы сделаете вывод, что обладающий сознанием наблюдатель является существенной частью квантовой теории и, вообще, что физика больше не может игнорировать Человека¹.

Возвращаясь к трехчленному делению мира фон Нейманом, можно сказать, что это деление довольно противоречиво и, говоря по существу, оно никак не отражено в теории, а поэтому бессодержательно. Фактически в книге фон Неймана нигде не специфицируются, даже схематично, свойства наблюдателя (система III): (а) его обсуждение составных систем², которое является центральным для всей трактовки процесса измерения³, относится к «наблюдаемому объекту вместе с измерительным прибором, то есть к системе I + II, составленной из физических систем и без какой-либо примеси психических компонентов; (б) фон Нейман ясно говорит, что субъект «остаётся вне вычислений»⁴. Но то, что не появляется в теории, хотя и полагается ее отличительной от классической теории измерения чертой, должно в таком случае рассматриваться как ложный элемент, призрак, скрытая переменная в худшем смысле этого термина.

В то же время обладающий сознанием субъект не единственный призрак в теории или, вернее, псевдотеории измерений фон Неймана. Подобным же свойством обладает и другая часть этой теории. Речь идет о состоянии наблюдаемой системы до того, как осуществлено реальное измерение. Ибо, если это состояние эмпирически не познано и, более того, непознаваемо, тогда оно не должно появляться в теории, присягнувшей на верность эмпирической философии. (С другой стороны, оно правомерно с точки зрения любой альтернативной философии, ибо оно может рассматриваться как гипо-

¹ W. Heitler, *Man and Science*, New York, Basic Books, 1963, p. 34—35.

² См.: И. фон Нейман, *Математические основы квантовой механики*, глава VI, § 2.

³ Там же, глава VI, § 3.

⁴ Там же, стр. 307, 320.

теза, которую нужно будет проверить с помощью наблюдений.) Кроме того, утверждать, как это делает фон Нейман, что измерение осуществляет переход от неизвестного состояния в непредсказуемый собственный вектор измеряемой «наблюдаемой», — значит объяснять непонятное с помощью еще более непонятного.

Во всяком случае, эскиз теории идеализированных измерений произвольных величин вместе с излишними разговорами о бесполезных наблюдателях не может рассматриваться как теория фактических измерений, хотя она и принята большей частью физиков-профессионалов (однако они никогда не пользуются ею). Причина неудачи фон Неймана в создании подлинной теории измерения заключается в том, что такой вещи, как произвольное измерение, не существует. Вторая причина состоит в том, что он некритически воспринял ортодоксальную интерпретацию квантовой механики, которой он научился у физиков, не учитывая, что в этой интерпретации теория измерения не нужна. (Вспомните строго копенгагенскую точку зрения, изложенную в § 3.1.) Действительно, согласно этой интерпретации, собственное значение не есть значение, которым реально обладает система, но скорее измеренное значение. (Мы доказали в § 2.2, что эта интерпретация является случайной и несостоятельной.) Следовательно, если принять ортодоксальную интерпретацию, то нет необходимости в какой-либо отдельной теории измерения. Далее, если собственные значения представляют собой измеренные значения, тогда собственные функции должны представлять состояние систем, находящихся под наблюдением. С другой стороны, общий вектор состояния (линейная комбинация собственных функций или собственных векторов) должен представлять состояние системы до или после ее наблюдения, в частности если принимается субъективная интерпретация вероятности, которую наполовину разделял фон Нейман. Он не видел, что нет никакого смысла в построении целой теории (квантовая механика минус теория измерений) на основе уравнения эволюции таких ненаблюдаемых состояний. Он не учитывал, что дуализм двух видов процессов, а именно процесса коллапсирования вектора состояния (процесс I) при измерении и процесса плавной («каузальной» в некорректной стандартной терминологии) эволюции, в соответствии

с уравнением Шредингера (процесс 2) противоречит исповедуемой им философии, согласно которой не имеет смысла создавать полную теорию процесса, в принципе ненаблюдаемого. Наконец, фон Нейман не обратил внимания на то, что (как давным-давно было указано Маргенау)¹ все фактические вычисления в квантовой механике, в частности те, которые уже проверены экспериментом, относятся к процессам не первого, а второго рода, удовлетворяющим уравнению Шредингера. Поэтому если бы была возможна общая квантовая теория измерения, что сомнительно, то естественно было бы отбросить проекционный постулат фон Неймана и применить уравнение Шредингера (или некоторый его эквивалент) к комплексу объект — прибор, рассматриваемому как чисто физическая двухсистемная сущность², или даже лучше трактовать его как проблему многих тел. В этом случае теория измерений была бы прикладным разделом основной теории, а не ее главой. Однако остается проблематичной сама возможность существования общей теории измерения, будь то классическая или квантовая теория, поскольку универсальным метром нельзя измерить ничего конкретного.

Таким образом, мы сталкиваемся с аномальной ситуацией. Сначала утверждают, что лишь рассмотрение эмпирических операций, таких, как измерения, придает содержание или физическое значение математическому формализму квантовой теории. Это близко к устаревшей верификационной доктрине значения, но не согласуется с практикой конструирования анализа и расчета эмпирических операций в свете теорий. Во-вторых, стандартная квантовомеханическая теория измерения (фон Неймана) не получила благословения сторонников в равной степени стандартной интерпретации квантовой механики. В-третьих, теории измерений фон Неймана не существует на практике, и предполагается, что она должна содержать некоторое понятие, а именно понятие наблюдателя, которое является нефизическим и к тому же не

¹ H. Margenau, *Physical Review*, 1936, vol. 49, p. 240.

² H. Everett III, *Reviews of Modern Physics*, 1957, vol. 29, p. 454; J. A. Wheeler, *Reviews of Modern Physics*, 1957, vol. 29, p. 463; Daneri, A. Loinger and G. Prosperi, *Nuclear Physics*, 1962, vol. 33, p. 297; D. Bohm and J. Bub, *Reviews of Modern Physics*, 1966, vol. 38, p. 453; M. Bunge, *Foundations of Physics*, 1967.

может быть органически введено в данную (псевдо) теорию. Оно остается вне ее формул, не смешиваясь ни с какими реальными компонентами теории. В-четвертых, с помощью теории измерений фон Неймана не был рассмотрен ни один реальный случай. Сам он привел единственный пример для двух материальных точек, который не может служить примером фактического измерения. Обсуждение реалистических, а следовательно, гораздо более сложных примеров фон Нейман оставляет читателю¹. В результате теория остается *непроверенной*, и действительно она не смогла дать ни одного верифицируемого предсказания. Даже некоторые видные защитники ортодоксальной точки зрения признают, что «реалистической теории действительных измерительных устройств не существует»².

Одним словом, стандартная квантовая теория измерения, которая без особых на то оснований утверждает, что на престол теоретической физики нужно возвести наблюдателя, является всецело призрачной. Следовательно, распространенные попытки рассматривать основания квантовой механики, и в частности ее значение в терминах теории измерений, являются столь же неблагоприятными, как и попытки раскрыть природу человека с помощью теологии. Более того, измерение всегда конкретно, определено частными деталями и может быть выполнено лишь с помощью специфических приборов. Но всякая специальная измерительная установка требует своей теории. Любая такая специфическая теория является некоторым применением ряда общих теорий. На самом деле мы имеем здесь некоторое множество общих теорий вместе с определенной моделью экспериментальной ситуации. Следовательно, одна-единственная теория не может служить объяснением любой возможной схемы измерения, за исключением столь поверхностного подхода, что он будет бесполезным для объяснения и предсказания поведения отдельной частной экспериментальной установки. Следовательно, строго копенгагенская точка зрения, согласно которой не следует тратить время, пытаясь построить квантовую теорию

¹ И. фон Нейман, Математические основы квантовой механики, М., 1964, стр. 324.

² Н. Р. Старр, Physical Review D, 1971, vol. 3, p. 1303.

измерения, является правильной, хотя она и покоится на ошибочном основании. Но независимо от позиции по отношению к этой спорной проблеме с философской точки зрения важно подчеркнуть, что не существует квантовой теории измерения, имеющей дело с Наблюдателем, несмотря на неоднократные и чисто словесные усилия обосновать его появление.

3.3. Эксперимент предполагает реализм и подтверждает его

Как это ни странно, оппоненты реализма пытаются опереться в своих доводах на наиболее материальные аспекты физики, а именно на лабораторную физику. Их излюбленные аргументы следующие: «Любая физическая величина не имеет численного значения до тех пор, пока она не измерена. Далее, измерение представляет собой акт человеческой деятельности, следовательно, физические величины приобретают точные числовые значения только в результате определенных человеческих действий. Таким же образом любая вещь не находится в определенном состоянии до тех пор, пока это состояние не приготовлено. Но приготовление состояния — это человеческая деятельность, следовательно, физические системы приобретают определенные состояния только в результате человеческих действий».

Эти аргументы, хотя и популярны, содержат порочный круг, ибо выводы из них утверждают то же самое, что содержится в их главных посылках. Действительно, «измерять» и «приготавливать» являются прагматическими терминами, из которых следуют меньшие посылки. Главные посылки уже содержат все то, что хочет доказать нереалист, а именно что все существующее имеет место потому, что кто-то решил все сделать именно так, а не иначе, или, эквивалентно, что свойства и состояния не имеют самостоятельного существования, а зависят от наблюдателя. Помимо всего, эти посылки являются ложными, ибо они основываются на смещении бытия и познания. Конечно, величина не имеет *известного* значения, если она не измерена. Но отсюда не следует, что если она не измерена, то она не *имеет* никакого определенного значения. Последнее равнозначно утверждению, что ученый не исследует мир, а творит его в процессе

своей деятельности; оно философски несостоятельно, так как ведет к субъективному идеализму, а в конечном счете к солипсизму.

Нереалистический тезис неадекватен (плох) и в математическом отношении. В самом деле, формулируя физическую теорию, утверждают, например, что определенное свойство представлено вещественной функцией, надеясь при этом, что измерения дадут возможность получить выборку данных из всего множества ее значений. Иными словами, предполагают, что функция *имеет* определенные значения в течение всего времени, в противном случае она не была бы функцией в соответствии с точным определением этого понятия. Подобным же образом дело обстоит и с операторами, которые представляют динамические переменные в квантовой механике. По предположению, они имеют определенные точные собственные значения даже в то время, когда никаких измерений этих свойств не осуществляется, ибо в противном случае они не были бы точно определенными математическими объектами. Это не означает, что физическая система постоянно обладает точным положением и точной скоростью, которые, однако, остаются нам неизвестными. Так как в квантовой механике динамические переменные являются случайными переменными, то они характеризуются определенными распределениями (даже для одной-единственной физической системы), а не просто числовыми значениями. Но эти распределения и вообще билинейные формы, построенные с помощью операторов и векторов состояния, должны иметь определенные значения в каждой точке пространства и времени, ибо они являются обычными функциями точек.

В итоге тезис, что значения функций и собственные значения операторов представляют собой их измеренные значения, несостоятелен. Конечно, решение измерить или приготовить систему, так же как и последующие лабораторные операции, являются действиями людей, и результат этих действий будет зависеть от людей, точно так же как и исход любых других человеческих действий. Но люди — это часть природы, и их воздействие на окружающую среду эффективно лишь постольку, поскольку оно основано на знании природы. Однако к физике имеют отношение только физические аспекты человеческих действий. Разум не может непосредственно

воздействовать на вещи, и даже если бы и мог, то физика не была бы компетентной в объяснении этого явления. Несомненно, акт приготовления изменяет первоначальное состояние вещи независимо от того, является она микросистемой или нет. Но для того чтобы это изменение произошло, нужно вначале иметь или саму вещь, или другие вещи, из которых ее можно получить. В итоге изменение также должно быть реальным, даже когда оно направляется человеком.

За исключением крайних субъективистов, которые надеются вообще обойтись без каких-либо эмпирических операций, каждый согласится с тем, что измерение и эксперимент являются существенными для физического исследования. Поэтому для того, чтобы любая такая операция служила подлинным эмпирическим свидетельством, она должна быть реальной. Мечты и мысленные эксперименты могут обладать эвристической ценностью, но они не могут ничего доказать и ничего опровергнуть. Иными словами, когда говорят об эксперименте, то необходимо фактически выяснить реальность экспериментальной установки. В противном случае речь идет лишь о некотором плане эксперимента или просто о фокусе иллюзиониста. Конечно, любое экспериментальное устройство является искусственным в том смысле, что оно планируется, изготавливается и контролируется людьми либо непосредственно, либо опосредованно. Так обстоит дело с машинами и искусственными спутниками, однако никто еще не принимал их ошибочно за наблюдателя. Далее, не может рассматриваться в качестве реальной и такая экспериментальная установка, непосредственное окружение которой также не было бы реальным, ибо в таком случае не возникла бы проблема изоляции изучаемой системы от среды, проблема поправок на температуру и давление, исследование влияния на систему внешних возмущений, утечек и т. д. Более того, чтобы вся система была реальной, необходима реальность каждой ее компоненты. Если бы компоненты сложной системы были психическими, а не физическими, они бы составили психическое целое. Это противоречит утверждению философов — сторонников копенгагенской ориентации о том, что если макросистемы (то есть приборы) могут быть реальными, то их атомные составляющие не имеют самостоятельного существования. Конечно, иногда

впадают в ошибку, полагая существование чего-то несуществующего. Но подобные ошибки в конце концов выявляются, и их исправление показывает, сколь много мы приобретаем, принимая предположение о том, что в лаборатории оперируют с реальными вещами.

Кратко резюмируем сказанное. Экспериментальная физика предполагает реальность объектов, с которыми она манипулирует, и проверяет некоторые из теоретических гипотез, сделанных относительно существования физических систем. Экспериментальной физике совершенно не нужна такая физическая теория, которая не делает никаких предположений о существовании (тех или иных предметов и явлений), а теоретическая физика не может ожидать никакой помощи от тех экспериментаторов, которые не желают пачкать свои руки о реальные вещи.

4. Четыре возможных стиля теоретического мышления

4.1. Реалистическая и субъективистская версии

Для того чтобы лучше оценить достоинства и недостатки обсуждавшихся нами философских концепций, попытаемся сформулировать в убедительной форме (то есть аксиоматически) одну весьма простую теорию в четырех различных вариантах, каждый из которых соответствует одному из философских направлений, о которых говорилось выше. (Эта формулировка будет иметь и побочный эффект, подводя фундамент под тезис о том, что научное исследование по отношению к философии является далеко не нейтральным.) Мы начнем с реалистических и субъективистских теорий, которые можно рассматривать совместно в силу их недвусмысленно монистического характера.

Пусть теория имеет дело с физической системой (альтернативно — с субъектом), которая находится в одном из двух состояний, именуемыми далее A и B , или переходит из одного в другое таким образом, что четыре возможных события, $\langle A, A \rangle$, $\langle A, B \rangle$, $\langle B, A \rangle$ и $\langle B, B \rangle$, имеют определенную вероятность. (Первое и четвертое являются, конечно, нулевыми событиями.) Мы будем

использовать пять первичных (неопределяемых) понятий: понятие множества систем Σ (альтернативно — субъектов), понятие функции состояния S , две постоянных A и B и функцию вероятности P_r .

Различие между двумя теориями — реалистической и субъективистской — заключается в референте. В первом случае классом референтов Σ будет множество физических систем, тогда как во втором — множество субъектов. Соответственно функции S и P_r будут либо свойствами физических систем, либо свойствами субъекта. Для экономии места субъективистская интерпретация будет обозначаться круглыми скобками и курсивом. Мы ограничимся формулировкой основных аксиом.

Аксиома 1. Существуют физические системы (*субъекты*) типа Σ . (Несколько подробнее: а) $\Sigma \neq \emptyset$, б) каждая $\sigma \in \Sigma$ является физической системой (*субъектом*.)

Аксиома 2. Любая физическая система (*субъект*) типа Σ находится в одном из состояний (*состояний разума*): A и B . (Более точно: а) S является много-однозначной функцией от Σ в $\{A, B\}$; б) A и B представляют состояния (*состояния разума*) физической системы (*субъекта*) типа Σ .)

Аксиома 3. а) P_r есть вероятностная мера на $\{A, B\}^2$, б) вероятность любой пары событий в $\{A, B\}^2$ не стремится к нулю (все переходы являются возможными), в) $P_r(\langle A, A \rangle) + P_r(\langle B, B \rangle) = 1$, г) $P_r(\langle A, B \rangle)$ представляет силу тенденции (*рациональной убежденности или уверенности*), с которой физическая система (*субъект*), находящаяся в состоянии (*состоянии разума*) A , переходит в состояние (*состояние разума*) B . Аналогично для других значений вероятностей.

Очевидное различие между двумя теориями заключается в следующем: а) В то время как реалистическая теория имеет дело с идеализированной физической системой (моделью множества реальных ситуаций), субъективистская теория занимается идеализированным субъектом (подходящую модель которого вряд ли составит даже крайне слабоумный). б) Реалистическая теория дает информацию о физических событиях, тогда как субъективистская теория информирует о психических событиях. в) Если реалистическая теория включает вероятности переходов из одного состояния в другое, кото-

рые могут быть проверены путем наблюдения частоты появления событий внешнего мира, то субъективистская теория предполагает, что соответствующие частоты переходов могут наблюдаться только интроспективно. (г) Реалистическая теория может быть проверена в физической лаборатории, в то время как субъективистская теория такую возможность исключает.

Обе теории являются феноменологическими или теориями черного ящика в том смысле, что они не дают объяснения механизма перехода. Однако они могут быть углублены таким образом, чтобы эти механизмы были раскрыты. В любом случае такое углубление потребует введения новых основных понятий и соответственно новых постулатов. (Напомним неписаное правило: для каждого нового первичного понятия нужен по крайней мере один новый формальный и один новый семантический постулат.) Реалистическая теория может быть поэтому расширена до более сильной теории, объясняющей вероятностные переходы в терминах, скажем, чисел заполнения состояний. Например, вероятность события $\langle A, B \rangle$ могла бы быть пропорциональна числу заполнения состояния A и обратно пропорциональна числу заполнения состояния B . Или еще, можно было бы выдвинуть теорию скрытых переменных, то есть теорию, содержащую дополнительные переменные и уравнение их эволюции, которые объяснили бы и существование состояний, и переходы между ними. Но любая такая теория все же осталась бы физической теорией. С другой стороны, субъективистская теория могла бы быть расширена в любом из следующих противоположных направлений: либо новые переменные окажется возможным связать с дополнительными психологическими понятиями, либо часть этих переменных будет иметь физиологический смысл. В первом случае было бы получено гомогенное расширение: новая теория оставалась бы в рамках психологии. Во втором случае более сильная и глубокая теория имела бы смешанный характер. Она содержала бы как психологические, так и физические (или, скорее, нейрофизиологические) переменные, так что описывала бы систему двух уровней. Последующее расширение открывало бы тем самым все новые возможности дальнейшего анализа каждой психологической переменной в нейрофизиологических терминах. Давайте

отважился на следующий вывод: любое углубление реалистически интерпретируемой теории сохраняет ее физический характер, тогда как попытки углубить субъективистскую теорию изменяют ее по существу, нанося тем самым поражение философии субъективизма. Иными словами, субъективизм, по-видимому, мог бы быть сохранен ценой отказа от дальнейшего углубления, чего нельзя сказать о реализме. Но в данном случае мы не рассматриваем вопрос о глубине теории. Наша цель в том, чтобы показать, что теорию можно изложить как в реалистических, так и в субъективистских терминах. Сейчас мы увидим, что ни одно из двух других философских направлений, которые мы обсуждаем, этого не допускает.

4.2. Трудности Копенгагенской интерпретации

В теории, построенной в чисто копенгагенском стиле, должен быть один-единственный класс референтов: множество целостных комплексов, состоящих из объекта, измерительного устройства и наблюдателя. На первый взгляд будто бы не существует никаких трудностей в построении копенгагенской версии любой физической теории, руководствуясь, например, способом, изложенным в предыдущем параграфе. Для этого достаточно было бы реинтерпретировать Σ как множество троек. На самом деле на этом пути возникает два технических препятствия: одно формальное, другое — семантическое.

Первое математическое препятствие заключается в следующем. Утверждение, что референт теории является единым и далее неанализируемым целым (равносильное тому, что класс референтов теории гомогенен в смысле § 1.1), противоречит утверждению, что каждое «количество» (величина) относительно в том смысле, что оно имеет отношение не только к интересующей нас системе (например, атому), но также и к ее (искусственному) окружению и наблюдателю, в ведении которого оно находится. Эти два тезиса копенгагенской школы взаимно противоречат друг другу, поскольку первый сводится к утверждению, что область значений рассматриваемых функций (например, распределения вероятностей) содержит гомогенное множество неделимых блоков, а суть

второго в том, что эта область представляет собой прямое произведение множества физических систем, множества приборов и множества наблюдателей.

Отказ анализировать референт *unit et trinit* (тройственного единства) превращает интерпретацию в безнадежную задачу, так как мы не находим свойств, которые можно приписать этому референту, поскольку они не являются ни строго физическими, ни строго психологическими. Именно поэтому Копенгагенская доктрина является столь же невразумительной, как и учение о троице, согласно которой Отец (Прибор), Сын (Микро-система) и Святой Дух (Наблюдатель) объединены в едином Божестве (Квантовом феномене). Возьмем, например, понятие состояния, встречающееся в микротео-рии, изложенной в предыдущем параграфе. Если в реалистической (альтернативно-субъективистской) интер-претации *A* и *B* символизируют физические состояния (альтернативно — психические состояния) системы опреде-ленного вида (физической или психической) то в копен-гагенской интерпретации они должны представлять пси-хофизические состояния блока: система — прибор — на-блюдатель. Но ни одна из существующих наук не может дать объяснение таких комплексных (и одновременно унитарных) сущностей.

В заключение следует сказать, что построить *непро-тиворечивую* теорию в копенгагенском стиле невозможно. Иными словами, копенгагенская интерпретация кван-товой теории является противоречивой, и здесь ей нельзя ничем помочь (см. также гл. 5 и 6). К счастью, ребен-ка — квантовую механику — не нужно выплескивать из ванны вместе с водой. Существуют непротиворечивые альтернативные формулировки теории¹.

4.3. Дуалистическая версия

Давайте вернемся к придуманной нами микротео-рии, которая обсуждалась в § 4.1. Ее аксиоматическая пере-формулировка в дуалистическом (например, операцио-налистском) духе потребовала бы двух различных множеств: множества инструментов *I* и множества

¹ M. Bunge, *Foundations of Physics*, New York, 1967.

наблюдателей или операторов O . Их надо рассматривать как взаимодействующие, но в то же время и как отличные друг от друга. (Если бы они были неразличимы, образуя единое целое, они вряд ли могли бы взаимодействовать.) Следовательно, соответствующие понятия должны рассматриваться как взаимно независимые первичные понятия. Дуалистическая версия нашей микротeorии основывалась бы в таком случае на семи, а не на пяти неопределяемых понятиях.

Затем, для того чтобы какая-либо система аксиом была удовлетворительной, она должна содержать аксиомы, специфицирующие как математическую структуру, так и фактуальное значение каждого из основных технических терминов. (Это можно было бы назвать условием полноты первичных понятий. См. гл. VI, § 4.) Но это, по-видимому, неосуществимо в случае дополнительных исходных понятий I и O . Причем если и возможно, то едва ли желательно. Неосуществимо потому, что если с Σ имеет дело строго физическая теория и, более того, теория, отчетливо сформулированная, то введение I и O требует выхода за ее рамки. В самом деле, характеристика любого прибора в теоретических терминах потребовала бы целого набора фрагментов из различных теорий. Точно так же спецификация любого наблюдателя потребовала бы привлечения всех наук о человеке: антропологии, психологии, социологии и т. д.

В том случае, если подобная теория была бы создана, она оказалась бы гигантских размеров. Поэтому дуалистическая программа практически неосуществима. Она также и нежелательна по следующим причинам. Во-первых, она делает невозможными общие теории, ибо общая теория — это теория, которая не связана ни с каким специфическим видом экспериментальных установок. Во-вторых, дуалистическая программа поставила бы прогресс физики в зависимость от состояния науки о человеке. Но верность принципам конца эпохи Возрождения не открывает перед физикой никаких перспектив. Ведь в конечном счете современная физическая наука родилась как раз как оппозиция антропоцентризму.

Итак, из четырех мыслимых типов теоретизирования неосуществимы два: копенгагенский и дуалистический. Реалистический и субъективистский подходы оказываются

ся возможными, но только первый приводит к объективным, проверяемым и в принципе способным к совершенствованию теориям.

5. Заключение. Реализм получает подтверждение

Мы начали с того, что провели различие между двумя видами интерпретации физических символов: строгой интерпретацией, которая сопоставляет математическую структуру с соответствующей идеей, и случайной интерпретацией, которая имеет более широкие границы. Мы показали, что в теоретической физике оправданны только строгие интерпретации, случайные же интерпретации (например, интерпретации в терминах операций) необходимы в экспериментальной физике, но они являются обоснованными только в том случае, если подкреплены соответствующими теориями (например, теориями, объясняющими операции).

Затем мы применили установленное нами различие к рассмотрению некоторых фундаментальных понятий физики. В результате оказалось, что в теоретической физике строгими интерпретациями являются либо реалистические, либо субъективистские; все же остальные интерпретации будут случайными. Кроме того, было показано отсутствие оснований для субъективистской интерпретации вектора состояния и вероятности, где они рассматриваются как брешь, через которую разум входит в физическую картину. Это было сделано с помощью исследования независимых переменных, то есть области определения соответствующих функций. Но этого, конечно, еще недостаточно, необходимо также помнить некоторые предпосылки и цели научного исследования. Отказ от субъективизма оставляет нам реализм в качестве единственной жизнеспособной философии физики.

Затем мы исследовали возможность воплощения одной и той же теории в каждой из четырех конкурирующих философских форм. Имеется в виду реализм, субъективизм, копенгагенская точка зрения и дуализм (в частности, операционализм). Оказалось, что, хотя первые два проекта вполне жизнеспособны, все же один из них — субъективистский — не очень-то легко поддается обобщению и углублению. Помимо этого, он абсолютно

непроверяем и, следовательно, ненаучен. Что касается копенгагенской версии, то ее реализация невозможна без противоречий, а дуалистическая (в частности, операционалистская) формулировка оказалась практически неосуществимой. Реализм еще раз отстоял свои права как единственно разумная философия физики.

Наконец, мы рассмотрели теорию измерений, с которой также весьма часто связывают попытки включить дух в новую картину мира. Мы обнаружили, что стандартная теория измерений (теория фон Неймана) является призрачной в гораздо большей степени, чем это обычно полагают. Едва ли она является реалистической теорией фактических измерений. Помимо того, она говорит о наблюдателе, который, очевидно, не нужен, поскольку нигде в формулах он не встречается. Здесь вновь наш анализ свидетельствует в пользу реализма и, в частности, банального, но важного тезиса о том, что физика есть наука о физических системах, несмотря на нереалистическую фразеологию, которая так часто окутывает физические формулы и физические операции.

Итак: существует ряд реалистических точек зрения (едва ли их можно назвать теориями) на познание. Какую из них поддерживает наш семантический и методологический анализ? Конечно, *критический реализм*. Эта точка зрения характеризуется следующими тезисами.

1) Существуют вещи в себе, то есть объекты, существование которых не зависит от нашего разума. (Отметим, что квантор в данном высказывании является квантором существования, а не всеобщности, ибо артефакты, очевидно, зависят от разума.)

2) Вещи в себе познаваемы, хотя и частично, путем последовательных приближений, а не вдруг и не исчерпывающим образом.

3) Познание вещи в себе осуществляется совместно при помощи теории и эксперимента, которые сами по себе не могут вынести окончательного решения относительно чего бы то ни было.

4) Познание (фактуальное) является гипотетическим, а не аподиктическим, следовательно, оно может быть уточнено и исправлено, и потому не окончательно.

5) Познание вещи в себе отнюдь не является непосредственным и наглядным, оно происходит окольным путем и символическим образом.

Критический реализм оказывается наиболее плодотворной эпистемологией, так как поощряет стремление видеть дальше любой теории, сколь бы успешной она ни была, и, следовательно, всегда искать возможность ее усовершенствования. В частности, он вдохновляет на исследование новых путей в фундаментальной физике, где, с чем, видимо, будет согласен каждый, необходим поиск радикально новых идей. Критический реализм поддерживает также программу перестройки существующих теорий с целью сделать их более ясными и самосогласованными.

Квантовая механика в поисках своего референта

Квантовая механика, возможно наиболее плодотворная из всех научных теорий, является в то же время теорией с наиболее слабой философией. Эта слабость коренится главным образом в неспособности ясно и убедительно сформулировать сущность подлинных референтов этой теории. А неспособность в свою очередь вытекает из приверженности к философии, которая колеблется между чистым субъективизмом и строгим реализмом. В самом деле, обычные интерпретации квантовой механики, с которыми мы встречаемся, например, в классических трактатах фон Неймана¹ и Дирака², а также в стандартных учебниках Бом³, Ландау и Лифшица⁴, соответствуют духу и букве раннего логического позитивизма, модного среди ученых в период между двумя войнами⁵.

Распространенные формулировки квантовой механики основаны на устаревшей философии, которой едва ли кто сейчас придерживается; и в этом одна из причин

¹ И. фон Нейман, Математические основы квантовой механики, М., 1964.

² П. А. М. Дирак, Принципы квантовой механики, М., 1960.

³ Д. Бом, Квантовая теория, М., 1965.

⁴ Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшиц, Квантовая механика, М., 1963.

⁵ См.: P. Frank, *Interpretations and Misinterpretations of Modern Physics*, 1938, Hermann and Cie, Paris; L. Von Mises, *Positivism: A Study in Human Understanding*, Harvard University Press, 1951, Cambridge, Mass., 1951 (перевод с немецкого издания 1939 г.); H. Reichenbach, *The Rise of Scientific Philosophy*, University of California Press, Berkeley and Los Angeles, 1951.

существования несостоятельных интерпретаций и неясностей теории. (Мы не касаемся примеров математической несостоятельности, таких, как появление расходимостей в некоторых формулах.) Многие из этой путаницы остро воспринимаются начинающими, но профессионал научился с ними жить. По существу же, он просто прищип, повседневно работая с концептуальным инструментом, не претендовать на его понимание. Иногда даже утверждают, что страсть к пониманию — это грешный пережиток классической физики. Профессионал может согласиться, что квантовая механика сформулирована довольно туманно; но иногда он выдает это за достоинство, утверждая, что квантовые события в конечном счете непроницаемы для разума¹ и мы должны быть счастливы, если, не обладая пониманием мира в классическом смысле этого слова, все же достигаем успеха, получая с помощью квантовой теории предсказания, подтверждаемые наблюдением и экспериментом.

Такая ситуация мало приемлема для философа и историка науки, который прекрасно осознает, что квантовая механика являет собой триумф разума, что нет вещей кристально ясных с самого начала и преграды на пути движения мысли рано или поздно рушатся одна за другой. Философ может подозревать, что туман, окутывающий квантовую механику, является, по существу, философским и рассеять его можно лишь с помощью средств, которых нет в обычном инструментарии физика — а именно с помощью логики, семантики, эпистемологии и методологии. Более того, философ имеет все основания считать, что туман, окружающий квантовую механику, замедляет прогресс этой фундаментальной физической теории в течение последних тридцати лет, то есть после того как было возведено основное здание. Действительно, успешные применения элементарной квантовой механики были столь многочисленны, что лишь незначительное меньшинство физиков исследует радикально новые пути. Физики-теоретики в этом отношении стали даже более консервативными, чем теологи. В результате за последнее время в фундаментальной теории микрофизики не было сделано никакого эпохального от-

¹ Н. Бор, Теория атома и принципы описания природы, — «Избранные научные труды», т. II, М., «Наука», 1971, стр. 62—71.

крытия и не будет сделано до тех пор, пока современную теорию будут рассматривать как совершенную или близко к таковой. Удовлетворенность ведет к застою и упадку.

Поэтому целесообразно кратко обрисовать те философские наслоения, которые мешают нам идти вперед, и попытаться освободить от них квантовую механику. Выполнение этих двух задач, критической и реконструктивной, представляло бы не только чисто философский интерес, но принесло бы несомненную пользу и развитию познания.

1. Блуждание в тумане

Подобно любой другой физической теории, квантовая механика представляет собой математический формализм с определенной интерпретацией. Обычная интерпретация квантовой механики, известная под названием *Копенгагенской доктрины*, была разработана несколькими титанами, создавшими эту теорию: Бором, Гейзенбергом, Борном, Дираком, Паули и фон Нейманом. Эта доктрина, или, скорее, семейство доктрин, хорошо известна физикам. Большинство из них, видимо, не осознает полностью, что Копенгагенская доктрина несостоятельна в научном и философском отношении, так как она противоречива и не вполне физична. Несколько слов об этих роковых чертах ортодоксальной доктрины.

Ортодоксальная квантовая механика противоречива как в формальном, так и в семантическом отношении, что можно обнаружить и в недрах стандартной теории, и в недрах метатеории. Противоречивость формального типа состоит в следующем. С одной стороны, считается (и правильно), что большинство свойств микрообъектов являются специфически квантовомеханическими, то есть неклассическими; они ответственны за новый характер квантовой механики *vis à vis* с классической физикой. Но с другой стороны, утверждается, что эти свойства характеризуют скорее лабораторные операции, а не частицы материи. Такие операции имеют место на макрофизическом уровне, и, следовательно, их можно описывать только классическим способом. Как видим, данная доктрина содержит противоречивое метаутверждение: «Квантовомеханические символы имеют отношение к не-квантовым (= классическим) фактам».

Источник этого противоречия является философским. Противоречие происходит из догмата, что физическая теория — это не теория, описывающая реальность (предполагается, что это совершенно неприемлемо в метафизическом отношении), а теория, описывающая человеческий опыт (предполагается, что в данном случае мы имеем дело с кристально ясной вещью). Верно, конечно, что физическая теория — это теория, *описывающая реальность и проверяемая* через человеческий опыт путем сопоставления некоторых логических выводов теории с экспериментальными фактами, которые находятся вне ее, но под контролем эксперимента. Копенгагенская доктрина характеризует данный фрагмент эмпирической философии следующим образом: «Не существует автономных квантовых событий, а только зависящие от наблюдателя квантовые элементы; то, что существует в том или ином квантовом состоянии, порождается наблюдением». Именно это утверждение и не согласуется с повседневной практикой физиков, работающих в квантовой области. В самом деле, большинство проблем, с которыми мы имеем дело в рамках квантовой механики, касается физических или химических систем, по предположению не взаимодействующих с какими-либо элементами аппаратуры. Кроме того, квантовой теории измерения фактически не существует, так как она неспособна объяснить специфику приборов, с помощью которых выполняются фактические измерения (см. гл. 4 § 3). К тому же рассматриваемый догмат несовместим с предположением, что по крайней мере сам наблюдатель реален и состоит из микросистем. Действительно, если каждый из атомов моего тела существует лишь постольку, поскольку я могу его наблюдать, то я — как система атомов — не существую в тех случаях, когда занят не непрерывным наблюдением своих микрофизических составляющих, а чем-либо другим. Одним словом, копенгагенская доктрина логически несостоятельна, и этот недостаток происходит из ее приверженности субъективистской философии¹.

¹ Относительно других противоречий см.: M. Bunge, *Metascientific Querie*, Charles C. Thomas Publ. Springfield III, 1959; L. Landé, *New Foundations of Quantum Mechanics*, Cambridge University Press, 1965; K. Popper, *Theory and Reality*, Springer-Verlag, New York, 1967.

Эта доктрина противоречива и в другом отношении — семантическом. Назовем теорию *семантически противоречивой*, если в ней допускаются предикаты, неродственные базисным предикатам (первичным понятиям) этой теории¹. Это всегда возможно в неаксиоматическом контексте благодаря логическому закону «Если p , то p или q ». В самом деле, если утверждается формула p , то « p или q » может быть выведено, даже если q и содержит предикаты, чуждые тем, которые входят в предпосылки p . Так, после того как мы сформулировали уравнение Шредингера, можно было бы сделать вывод: «либо уравнение Шредингера справедливо, либо неверно, что наблюдатель творит мир», который является истинным и, кроме того, эквивалентным утверждению: «Если наблюдатель творит мир, то уравнение Шредингера справедливо». Конечно, это подтасовка. Предикаты «наблюдатель», «творит» и «мир» не были включены в основные предикаты первоначального рассуждения: они появились совершенно неожиданно. Но именно так и поступают в контексте копенгагенской доктрины. Пример: поставлена задача вычисления возможных энергетических уровней некоторого *изолированного* атома данного вида. В итоге же результаты ваших вычислений интерпретируются как возможные значения, которые получит экспериментатор, активно воздействующий на атом, даже если атом *ex hypothesi* находится так далеко, что возможность фактического взаимодействия с ним исключена. Это значит пойти по атомы, а вернуться с наблюдателями. Подобные семантические противоречия стараются не замечать; их возникновению способствует также приверженность к субъективистской эпистемологии, в частности к операционализму.

Существует лишь один способ избежать эти противоречия, а именно четкая фиксация исходного базиса (множества неопределяемых понятий) и строгое ему следование — иными словами, аксиоматизация теории. Если понятие наблюдателя содержится среди основных предикатов, то не должно возникать никакой семантической противоречивости указанного типа. Но тогда должны возникнуть синтаксические противоречия, коль скоро

¹ M. Bunge, *Dialectica*, 1965, vol. 19, p. 195; *Scientific Research*, 2 vols, Springer-Verlag, New York, 1967.

хотят построить наблюдателя из микросистем, зависящих от него же самого. Избежать эти противоречия возможно посредством ясной аксиоматизации теории, исключая какие-либо нефизические предикаты, то есть переформулировать квантовую механику *упорядоченным и строго физическим* образом.

Формальных и семантических противоречий — этого бедствия стандартных формулировок квантовой механики — нельзя избежать с помощью полумер, ибо они возникают из догматической приверженности философии, противоречащей самой цели физической науки. Вы не можете получить совершенной физической теории, исходя из предпосылки, что она должна удовлетворять нефизическим требованиям, таким, например, как постулат, что не существует автономных (независимых от наблюдателя) физических сущностей и их свойств.

Полуфизический характер стандартных формулировок квантовой механики вполне очевиден уже из ее терминологии. Символ, представляющий физическое свойство, именуется *наблюдаемой*, а макрофизическая система, такая, как система отсчета или измерительный прибор, называется *наблюдателем*. Вместо того чтобы говорить о свойствах физической системы, сторонники копенгагенской интерпретации говорят просто о наблюдаемой или о наблюдаемой, численные значения которой устанавливаются (или даже определяются!) некоторой последовательностью лабораторных операций. Тем самым мы переходим в физике на позиции явного антропоцентризма.

В то же время анализ символов, встречающихся в квантовой механике, опровергает эту интерпретацию. Так, оператор положения i -й микросистемы в данной совокупности может быть записан в виде x_i , где индекс i обозначает конкретный (но произвольный) физический индивидуум, который, насколько мы знаем, может независимо существовать в каком-либо заброшенном уголке вселенной. Среднее квантовомеханическое значение x_i для данного индивида i есть функция времени, а не наблюдателя и параметров, фиксирующих условия наблюдения. То же самое можно сказать и в отношении любой другой наблюдаемой в элементарной квантовой механике. Короче говоря, наблюдатель в квантовой механике — фигура декоративная. Он вводится по чисто

философским соображениям, но в вычислениях никогда не принимается всерьез.

Больше того, философия, присущая ортодоксальной интерпретации квантовой механики, делает невозможной собственно физику, подчиняя ее психофизиологии наблюдателя-человека. Напомним, что это нечто иное, нежели бесспорное утверждение, что высказывания любой физической теории должны быть эмпирически проверяемы. Копенгагенская доктрина утверждает другое, а именно что все эти высказывания следует относить к экспериментально проверяемым ситуациям, иначе они будут бессмысленны. (Некоторые идут еще дальше, считая необходимым включить и разум наблюдателя¹.) Как видно, Копенгагенская школа приняла за референта физической теории способ ее проверки, отождествив методологическую проблему с проблемой семантической. И ответственность за эту путаницу ложится на операционализм (см. гл. I).

Впустив наблюдателя в квантовую механику, Копенгагенская школа превратила ее из чисто физической науки в психологическую. Это, по-видимому, устроило бы Маха и его последователей из Венского кружка, которые намеревались унифицировать науку на основе человеческой психологии. Однако для нас это неприемлемо по следующим причинам. Во-первых, поскольку классическая физика сосуществует с квантовой, надо было бы обращаться к двум взаимно несовместимым эпистемологиям: реалистической, связанной с макроуровнем, и субъективистской, ассоциируемой с микроуровнем. Во-вторых, из-за наблюдателя. Если бы он со всеми своими психофизическими свойствами вошел в физику в качестве ее референта, то физические теории нельзя было бы проверить без помощи высокоразвитой психофизиологии. Но квантовая механика не содержит ни одного предположения относительно конституции и поведения Наблюдателя — даже ортодоксальная формулировка не специфицирует его. Но поскольку обычная формулировка включает наблюдателей именно в качестве референтов, а не индивидов, создающих и проверяющих теории, по-

¹ См.: E. Wigner, in (J. Y. Good ed.) *The Scientist Speculates*, Heinemann, London, 1962; W. Heitler, *Man and Science*, Basic Books, New York, 1963.

стольку для того, чтобы слово «наблюдатель» имело смысл, необходимо дополнить физику субстанциальной частью психофизиологии. Фактически же имеет место обратный процесс. Психофизиология все больше и больше использует физику и химию, тогда как представители теоретической физики, признающие копенгагенскую интерпретацию лишь на словах, успешно объясняют и предсказывают физические факты, не обращаясь к психофизиологии. Это говорит о том, что понятие наблюдателя не только чуждо физической теории, но что, быть может, имеет смысл переформулировать квантовую механику, не прибегая к помощи данного психофизического понятия. Проведем небольшое предварительное исследование этой возможности.

Перевод полуфизических высказываний копенгагенской интерпретации в чисто физические утверждения может быть осуществлен в каждом конкретном случае. Об этом свидетельствуют следующие примеры. Выражение:

Событие x появляется для наблюдателя y , когда оно очищено от прагматических ингредиентов, оно сводится к следующему:

Событие x произошло в системе отсчета y [в которой наблюдатель может иметь, а может и не иметь места].

А выражение:

Неопределенность, относящаяся к высказыванию о том, что произойдет событие x , равна y , сводится к:

Вероятность события x равна $1 - y$.

Отметим, что подобная переводимость не сводится к логической эквивалентности. В большинстве случаев предполагается, что события, с которыми имеет дело теория, произошли без помощи мыслящего субъекта, а высказывание, касающееся объективной вероятности какого-либо события, отличается от метаутверждения относительно вероятности, приписываемой кем-либо высказыванию об объекте, как концептуально, так и численно. Суть дела состоит в том, что такой перевод возможен и должен быть выполнен, если мы хотим сохранить различие между миром внешним и миром внутренним. Перейдем теперь к чисто физической интерпретации математического формализма квантовой механики,

рискуя при этом заслужить упреки со стороны тех¹, кто расценивает как несерьезную и тщеславную затею любую попытку высказать какие-либо сомнения по поводу корректности основных принципов ортодоксальной версии квантовой механики. Что же касается философа, то для него суэта и тщеславие — там, где догма не вызывает сомнения.

2. Туман рассеивается

Стандартный формализм квантовой механики может быть интерпретирован строго физически, в частности вне всяких ссылок на психологию. Другими словами, квантовой механике можно дать иную интерпретацию, аналогичную интерпретации классической физики, то есть предполагая, что сущности, с которыми соотносится теория — электроны, атомы, молекулы и т. д., имеют независимый статус. Это не исключает, конечно, возможности для экспериментатора их модифицировать, например отфильтровывая определенные состояния, или доказывать, что некоторые микросистемы существовали лишь в воображении. Однако для этой цели экспериментатор должен использовать физические средства. Он не будет это делать, сидя просто за столом, вычисляя и взывая к Копенгагенскому духу. Иными словами, если мы и говорим здесь об экспериментаторе, то только как о сущности, способной влиять на физические события с помощью физических средств либо непосредственно — движениями своего тела, либо опосредованно — с помощью автоматических устройств. Разум физика изобретает формулы, на основе которых делаются предсказания физических событий и которые используются для проектирования и интерпретации эксперимента, но сам разум не действует непосредственно на изучаемые физические события и поэтому не имеет прямого отношения к самой теории.

Руководство для построения строго физической версии квантовой механики состоит в следующем: «Возьмите стандартную формулировку, очистите ее от субъективистских элементов и, наконец, логически реорганизируйте то,

¹ L. Rosenfeld, Science Progress, 1953, № 163, p. 392; «Nature», 1961, vol. 190, p. 384.

что осталось». Субъективистскими элементами являются, конечно, понятие наблюдателя и понятия, соотносящиеся с ним, такие, как, например, понятия наблюдаемой и субъективной вероятности. В обычной формулировке квантовой механики понятие наблюдателя встречается, например, в таком высказывании: «Если данная система находится в собственном состоянии ее *наблюдаемой* A , соответствующем собственному значению a , то любой *наблюдатель*, измеряющий A , достоверно получит значение a ». Выделенные курсивом слова неуместны в теоретическом рассуждении, ибо они указывают на субъекта, а также на некоторые его действия и психические состояния.

Более того, приведенное выше утверждение, как оно сформулировано, ошибочно, так как типические квантовомеханические свойства не являются непосредственно наблюдаемыми (в эпистемологическом смысле) и измеряемые значения обычно представляют собой только приближения к значениям, вычисленным теоретически. Что касается понятия достоверности (certainty), то оно также чуждо физической теории. Строго физическая теория, если она стохастическая, должна заключать в себе объективную и, в частности, физическую интерпретацию исчисления вероятностей. Она должна интерпретировать вероятность как физическое свойство, а не как меру достоверности¹. Это не лишает права на существование те или иные психологические модели теории вероятностей. Необходимо лишь избегать смешения этих двух моделей в интересах непротиворечивости.

Постулат, который мы только что критиковали, следовало бы заменить чем-то вроде следующего: «Если система находится в состоянии, представленном собственным состоянием оператора, отображающего ее свойство A , то числовое значение, которое A принимает, будет собственным значением a , соответствующим этому состоянию».

После того как существующая теория освобождена от всех нефизических понятий, ее следует логически

¹ См. гл. 4, § 2.4. См. также: H. Poincaré, *Calcul des Probabilités*, Gauthier-Verlag, 1912, Paris; M. von Smoluchovsky, *Naturwissenschaften*, 1918, vol. VI, S. 253; K. R. Popper, *British Journal for the Philosophy of Science*, 1959, vol. 10, p. 25.

реорганизовать хотя бы для того, чтобы избежать рецидивов субъективизма. Для выполнения этой задачи простого рецепта не существует, поскольку для любой данной аксиоматизируемой теории есть несколько возможных аксиоматизаций (см. гл. 6, § 3). Аксиоматическое обоснование квантовой механики, предложенное автором¹, использует следующие первичные (неопределяемые) понятия: «Микросистема» (или *квантон*), «окружение (микрофизическое или макрофизическое) микросистемы», «обычное (конфигурационное) пространство», «пространство состояний», «свойство микросистемы», «оператор его представляющий» («наблюдаемая» в ортодоксальной версии) и еще десять более специфических понятий. Среди них — понятия массы, заряда и оператора энергии. Затем каждое из этих понятий характеризуется (но не определяется) посредством определенных постулатов, большинство из которых далеко не самоочевидны. Все эти постулаты являются, по существу, гипотезами, которые должны быть оправданы тем, насколько успешно объясняет теория экспериментально контролируемые факты.

Постулаты этой реалистической версии квантовой механики характеризуют как форму, или математическую природу основных понятий, так и их физическое значение: следовательно, система аксиом определяется как формально, так и семантически. Например, важное место в этом множестве аксиом занимает утверждение, что определенные множества — непустые, а их элементами являются микросистемы с соответствующим окружением. Этот физический трюизм имеет важное философское значение. Он делает теорию непустой и включает ее в рамки эпистемологического реализма. Другая аксиома утверждает, что если оператор представляет физическое свойство микросистемы, то в таком случае собственные значения этого оператора являются единственными значениями данного свойства. Здесь ничего не говорится о наблюдениях. Измерения выступают на сцену, как обычно, в стадии проверки. Например, будет выбрана некоторая совокупность идентичных микросистем, будут измерены

¹ M. Bunge, *Foundations of Physics*, New York, 1967; M. Bunge, in (M. Bunge ed.) *Quantum Theory and Reality*, Springer-Verlag, New York, 1967.

некоторые их свойства и экспериментально найденная частота распределений (гистограмма) будет сопоставлена с вычисленной частотой распределения, относящейся к некоторой индивидуальной системе. Вместо догматического постулирования, что экспериментальные значения идентичны теоретическим значениям — как это делается в рамках копенгагенского подхода, — будут сравниваться два множества значений. В случае расхождения критике будет подвергнута либо теория, либо эксперимент, либо и то и другое.

Необходимо всюду избегать термина *наблюдаемые* в отношении свойств микросистем или их концептуальных представителей (динамических переменных). Во-первых, потому что они невоспринимаемы, хотя и доступны косвенному исследованию, подобно тому как состояние нетерпения можно вывести из определенных жестов и выражений. Кроме того, называть квантовомеханические свойства *наблюдаемыми* — значит оставлять без ответа важный вопрос относительно конкретных способов их измерения. Наконец, как уже отмечалось, понятие наблюдаемой, как показывает его анализ, не является чисто физическим предикатом. «Объект x наблюдается субъектом y при определенных условиях z с помощью (эмпирических или теоретических) средств z ». Если не смешивать теоретическую физику с психологией и эпистемологией, в нее не следует допускать субъекта. Роль субъекта состоит в том, чтобы построить теорию и проверить ее, а не выступать в качестве ее референта. Именно по этим причинам не следует называть «наблюдаемыми» динамические переменные, встречающиеся в квантовой механике.

Типичные квантовомеханические величины являются случайными переменными в том смысле, что с ними связываются определенные распределения вероятностей. Это справедливо, в частности, для положения и импульса микросистемы, которые следовало бы называть *квантовым положением* (quosition) и соответственно *квантовым импульсом* (quomentum), чтобы подчеркнуть их неклассический характер. В предлагаемой версии квантовой механики ее фундаментально вероятностный характер не предполагается, а доказывается. В самом деле, было показано, что функция, представляющая квантовое состояние, удовлетворяет аксиомам исчисления вероятностей.

Отсюда видно, что квантовая механика сегодня не содержит никаких скрытых (то есть неслучайных) переменных. Поэтому знаменитое доказательство фон Неймана о невозможности введения в квантовую механику скрытых (без дисперсии) переменных оказывается тривиальным метаутверждением, которое прямо вытекает из обычного рассмотрения первичных понятий аксиоматической системы и доказательства того, что все функционирующие динамические переменные суть случайные переменные. В таком случае любая попытка опровергнуть тезис фон Неймана, исходя из современной теории, должна окончиться столь же неудачно, как и любая попытка запретить построение альтернативных теорий.

Фундаментально стохастический характер квантовой механики можно понимать по-разному. Можно предполагать, что фундаментальная квантовая механика является наукой не об индивидуальном квантоне, а о статистических ансамблях квантонов. В таком случае нет ничего удивительного в том, что различные компоненты некоторого ансамбля в данном квантовом состоянии имеют различные значения положений и импульса. Но фундаментальная квантовая механика имеет силу и по отношению к индивидуальной микросистеме, например по отношению к каждому отдельному атому, проходящему через кристалл и попадающему на флюоресцирующий экран. Теория же проверяется посредством больших ансамблей квантонов. Так, вычисленное распределение положений сравнивается с «дифракционной» картиной, возникающей на экране, когда число индивидуальных соударений возрастает. Иными словами, как и любая другая случайная переменная, функция состояния относится к индивидуальному квантону (помещенному в данной среде), но ее точная форма проверяется с помощью статистических совокупностей квантонов. Совокупности сосуществующих микросистем, особенно если они взаимодействуют, должны рассматриваться в рамках более сложной теории (квантовой статистики), опирающейся на элементарную квантовую механику.

Другая возможность заключена в предположении, что фундаментальная квантовая механика не есть наука о каких-либо произвольных индивидуальных вещах или их фактических комплексах, а о концептуальном множе-

стве таких сущностей — ансамбле Гиббса¹. Но эта альтернатива, видимо, еще не исследовалась систематически. Третья возможность состоит в том, чтобы рассматривать квантовомеханические свойства как латентные или потенциальные, а не как актуальные или становящиеся актуальными или еще как свойства, которые проявляют себя при взаимодействии системы с измерительным инструментом². Но в этом случае все динамические переменные становятся зависящими от наблюдателя, ибо в его воле — выявить или не выявить их.

Концепция квантовомеханических свойств как латентных может быть освобождена от субъективистской окраски следующим образом. Как правило, квантон не имеет ни точно определенного положения, ни определенного импульса. Он имеет лишь их точные распределения. Эти распределения изменяются во времени под действием окружения, независимо от того, включено это окружение в эксперимент или нет. В частности, квантон может достаточно отчетливо локализоваться в пространстве. Для этого необходимо выполнить операции по приготовлению локализованного состояния. Но это не необходимо. Природа сама может иногда проделывать этот трюк, и именно поэтому мы, будучи частью природы, в определенных случаях добиваемся успеха в попытке фиксировать, например, положение атомов или получить приблизительно моноэнергетический электронный пучок. Во всех этих случаях происходит сужение некоторого объективного распределения, которое тем самым становится квазиточечным. В этом смысле и возникает, или актуализируется, классическое свойство, в то время как сопряженное с ним становится классически менее определенным.

В некотором смысле это предельное точечно-подобное распределение, или классическое свойство, можно рассматривать как свойство диспозициональное или потенциальное, поскольку квантон имеет возможность его приобрести. Но не существует дихотомии потенциальное — актуальное в стиле Аристотеля, ибо распределения

¹ P. G. Bergman, in (M. Bunge ed.) *Quantum Theory and Reality*, 1967.

² H. Margenau, *The Nature of Physical Reality*, McGraw-Hill, New York, 1950; D. Bohm, *Quantum Theory*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N. Y., 1951.

(положения, момента импульса и т. д.) являются свойствами, которыми квантон постоянно обладает. Более того, они объективны (т. е. не зависят от субъекта), хотя любой наблюдатель может использовать реальные экспериментальные устройства для того, чтобы сузить или расширить то или иное распределение. Все это, конечно, предполагает забвение субъективной вероятности и принятие одной из физических моделей вероятностного исчисления. В квантовой аксиоматике, предложенной автором, принимается модифицированная (полностью физическая) версия попперовской интерпретации вероятности как меры предрасположенности. Согласно этой теории, вероятность является мерой (не обязательно измеренной величиной) объективной склонности вещи вести себя определенным образом. Если кто-либо желает избежать этой интерпретации, ему необходимо разработать квантовую механику как теорию, описывающую множества идентичных копий объекта, то есть в духе статистики Гиббса. Но эта программа еще не выполнена. Пока указанная альтернатива находится в стадии исследования, мы можем рассматривать квантоводинамические переменные как представляющие объективные потенциалности.

Этого, видимо, достаточно, чтобы в эскизном виде представить суть нашей объективистской аксиоматики оснований квантовой механики.

3. Ясная видимость

Первое преимущество реалистической систематизации квантовой механики заключается в установлении ясного различия между формальным и семантическим аспектами, то есть между квантовым синтаксисом и квантовой семантикой. Физическое содержание входит в теорию через так называемые *интерпретационные гипотезы*, которые суть не просто правила обозначения, но и корректируемые предположения и не «операциональные определения», а объективные, не зависящие от наблюдателя гипотезы. Подобно любой другой теории, квантовая механика содержит теоретические понятия, не имеющие эмпирической интерпретации, то есть такие понятия, которые нельзя ввести с помощью «операциональных определений». Более того, ни один из основных символов кванто-

вой механики не может быть эмпирически интерпретирован, откуда следует, что теория вообще не имеет эмпирического содержания. Это не означает, что квантовая механика непроверяема, а свидетельствует о том, что теория имеет дело не с явлениями как таковыми, а с фактами, лежащими вне чисто эмпирической сферы. В самом деле, микрофакты, на которые ссылается фундаментальная квантовая механика, такие, как квантовые скачки, являются ненаблюдаемыми. Эмпирическая проверка квантовой механики, подобно проверке любой другой теории, требует привлечения дополнительных теорий, связывающих микрофакты с макрофактами, а также теорий, объясняющих поведение макросистем (например, усилителей), включенных в процесс измерения. Одним словом, квантовая механика имеет физическое значение, так как она относится к физическим (хотя чаще всего и не воспринимаемым непосредственно) сущностям и свойствам. Она становится эмпирически проверяемой только совместно со специальными предположениями, экспериментальными данными и дополнительными физическими теориями. Как правило, это не принимается во внимание теми, кто имеет обыкновение ошибочно отождествлять значение с возможностью проверки.

Наша аксиоматическая система определена как формально, так и семантически. Интерпретация формализма, выполненная с помощью интерпретативных постулатов теории, выглядит, однако, несколько схематично. Так, когда утверждается, что каждое состояние микросистемы представлено точкой (лучом) в некотором пространстве (гильбертовом пространстве системы), то термины «микросистема» и «состояние» и определяются, и описываются лишь с помощью тех же самых постулатов. Эти термины взяты из физического жаргона, которым, по предположению, должна характеризоваться профессия физика. Они встречаются не только в квантовой механике, но и в других областях физики, и их значение совместно специфицируется всеми теми областями исследования, в которых они используются. Это свойственно не только квантовой механике, но и вообще всем фактуальным наукам. Мы не имеем здесь возможности останавливаться на математике, где одна теория (например, теория групп) может быть интерпретирована с помощью других теорий (например, арифметики и геометрии).

Семантические, или интерпретативные, аксиомы физической теории ставят математические символы в соответствие с физическими элементами — сущностями и их свойствами. Квантовомеханические сущности и свойства могут быть в равной мере истолкованы в терминах как частиц, так и полей или даже жидкостей, а в некоторых случаях и тем и другим способом. Это и послужило основанием для копенгагенского тезиса о том, что оба способа представляют собой одинаково истинные и взаимно дополнительные интерпретации. С точки же зрения автора, все это лишь показывает, что обе интерпретации являются интерпретациями *ad hoc*. Две различные интерпретации одного и того же формализма образуют две отличающиеся друг от друга теории. Такие теории можно сравнивать, но не нужно смешивать между собой. Это утверждение подкрепляется (а) отсутствием последовательной аксиоматизации квантовой механики либо в корпускулярных, либо в волновых терминах и (б) тем фактом, что все обычные рассуждения могут быть проведены в рамках нашей версии квантовой механики без использования понятий частицы и волны. В частности, вектор состояния не интерпретируется как вектор, описывающий напряженность некоторого поля. Он также не интерпретируется и как некое поле знания. Это почти такой же источник физических свойств, как, например, потенциалы или лагранжианы. Отбрасывая классические аналогии, квантовая механика подвергается тем самым такому же преобразованию, как и классическая теория электромагнетизма, когда специальная теория относительности показала отсутствие механического эфира в качестве носителя электромагнитного поля.

Обходясь без классических понятий частицы (точно локализованного микротела) и волны (возбуждение поля), мы тем самым обходимся и без корпускулярно-волнового дуализма и знаменитого «*принципа*» *дополнительности*, краеугольного камня копенгагенской доктрины. С нашей точки зрения, квантон — это ни классическая частица, ни классическое поле, а некоторая сущность *suí generis*, которая при одних обстоятельствах выглядит подобно частице, а при других — подобно волне (см. § 2). При этом не существенно, естественны ли эти обстоятельства или они искусственно созданы экспериментатором. Во всяком случае, законные понятия частицы и волны,

когда они связаны с макросистемами (тела и макроскопические поля), на квантовом уровне должны рассматриваться лишь как метафоры, которые, как известно, вещь обоюдоострая: несомненно, имеющая некоторую эвристическую ценность, но в то же время и способная ввести в заблуждение. Элиминирование корпускулярно-волнового дуализма и связанного с ним «принципа дополнительности» может рассматриваться как еще одно преимущество нашей формулировки квантовой механики, ибо наряду с концепцией дополнительности мы избавляемся от весьма многих непоследовательностей и неясностей. (Подробнее об этом см. гл. 6.)

Другим призраком, от которого нам удастся избавиться, оказывается *неточность* (uncertainty). Если квантовая механика — наука не о психических состояниях, а — догадайтесь о чем? — о частицах материи и излучения, то рассеяния, в соотношении Гейзенберга, следует интерпретировать не как субъективные неточности, а как объективную меру локализации квантонов¹. Конечно, наша переформулировка квантовой механики не устраняет неточности: аксиоматизация знания сама по себе еще не обеспечивает его достоверности. Термин «неточность» перемещается теперь в один из метаязыков квантовой механики, то есть допускается в высказываниях, касающихся нашего умения предсказывать факты с помощью последней. Но он не должен встречаться ни в объектном языке квантовой механики, ни в какой другой физической теории. То же можно сказать и о *достоверности* (certainty).

Термин *неопределенность* (indeterminacy) для наименования разброса около среднего значения несколько лучше, чем «неточность», но он не совсем корректен, поскольку в объективном распределении положения нет ничего неопределенного, пока «неопределенность» не приравнивается к «отсутствию всякой закономерности и/или просто к чему-то сверхъестественному»². Квантовая

¹ K. R. Popper, *British Journal for the Philosophy of Science*, 1959, vol. 10, p. 25; M. Bunge, *Foundations of Physics*, New York, 1967.

² M. Bunge, *Причинность*, М., ИЛ, 1962; M. Bunge, *The Monist*, 1962, vol. 47, p. 116; M. Bunge, *The Myth of Simplicity*, Prentice-Hall, Englewood, Cliffs, N. Y., 1963.

механика — стохастическая теория в самих своих основах, но стохастическая теория с определенными законами относительно вероятностных распределений, конечно, не будет индетерминистической, если она не оставляет места для чего-либо незакономерного. В итоге наша версия квантовой механики — детерминистическая, как и классическая механика, с той лишь разницей, что она не поддерживает лапласовский детерминизм. Заметим, что и ортодоксальная доктрина не является индетерминистической. В самом деле, если квантовомеханические вероятности выражают просто степень достоверности, то отсюда еще ничего не следует относительно вещей в себе. Онтологический индетерминизм требует физической (объективной) интерпретации вероятности. Но как только мы предполагаем, что вероятности и объективны и закономерны, индетерминизм уступает место стохастическому детерминизму.

Нечто подобное справедливо и для других эпистемологических терминов, таких, как «наблюдатель», «наблюдаемая» и «познание»: они не встречаются в языке нашей теории, хотя и могут иметь место в ее метаязыке в тех случаях, когда считают, что знание состояния микросистемы дает возможность вычислить распределение ее импульса и среднее положение. Фактически эта интерпретация и используется физиком, когда он не приспособливает квантовую механику к официальной философии. Так, например, характеризуя вектор состояния, он говорит, что для каждой системы в данной окружающей среде этот символ представляет некоторую функцию пространства и времени, причем форма функции может изменяться, если изменяется система и/или окружающая ее среда. Иными словами, и в нашей реалистической интерпретации квантовой механики, и в повседневной работе физика каждая точка ψ в пространстве состояний является комплексной функцией от $\Sigma \times \bar{\Sigma} \times \Sigma^3 \times T$, где ' Σ ' обозначает множество квантонов, ' $\bar{\Sigma}$ ' — множество окружающих сред, ' Σ^3 ' — обычное пространство, а ' T ' — длительность, крестик означает топологическое произведение. То же самое можно сказать и в отношении операторов, действующих на ψ . Ни в одном случае наблюдатель не встречается в качестве аргумента.

4. Восстановление объективности

Как мы говорили, субъект появляется в некоторых метаязыках теории. Возьмем, например, функциональное отношение F между переменными x и y , каждая из которых представляет некоторый аспект физической системы σ вида Σ . Поскольку аспекты, соотносящиеся через F , являются физическими свойствами σ , они должны быть представлены как определенные функции от Σ . Назовем их $g: \Sigma \rightarrow X$ и $h: \Sigma \rightarrow Y$, где X является множеством численных значений g , а Y — множеством численных значений h . Тогда функциональное отношение F между величинами x и y , выражаемое некоторой числовой функцией $F: X \rightarrow Y$ со значениями $y = F(x)$, хотя референты σ в последнем выражении явно не задаются, должно читаться с их помощью, так как F построено из f и g . Поэтому формулу « $y = F(x)$ » надо интерпретировать следующим образом: Множество X численных значений свойства g системы σ отображаются функцией F в множество Y численных значений свойства h той же самой системы. Такова строгая физическая интерпретация (схема) данного функционального отношения. Но ту же формулу можно реинтерпретировать в некотором метаязыке теории, где эта формула присутствует, любым из следующих двух способов: (1) Дана F для каждого x в X и для каждого y в Y , знание x однозначно детерминирует, или определяет, знание y (в эпистемологическом, а не онтологическом смысле термина «детерминация»). (2) Для всех x в X и всех y в Y из соответствующего измерения x с использованием формулы $y = F(x)$ найдено (или вычислено) y .

Последние две интерпретации могут быть названы *эпистемологическими* или *прагматическими*. Причем вторая более ограничена по сравнению с первой, которая не конкретизирует способ познания. Последний может быть как экспериментальным, так и допускающим возможность гипотетического постулирования значений x . Но любая прагматическая интерпретация является более узкой, нежели физическая, поскольку требует присутствия познающего субъекта, который, увы, не везде и не всегда присутствует. Физическая интерпретация наиболее широкая, больше того, она служит базисом, или основой, двух других. Почему так? Во-первых, эпистемологические ин-

терпретации, принадлежат метаязыку или языку, в котором присутствует формула « $y = F(x)$ ». А метаязыка не существует без предшествующего ему объектного языка. Во-вторых, если мы не хотим впасть в солипсизм, то должны предположить, что наше знание истинно в той мере, в какой оно моделирует реальные вещи, отношения и события. Если знание x однозначно детерминирует y посредством F , то это должно быть потому, что X и Y на самом деле однозначно связаны через функцию F , то есть потому, что Y через функцию F является образом X независимо от того, известно нам это или нет.

Идеал объективности, характерный для фактуальной науки, разделяется в таком случае квантовой механикой в той же мере, как и классической физикой. Объект не исчезает и не объединяется с субъектом. Изменилось лишь то, что наши современные представления о микрообъектах стали в высшей степени опосредованными. Субъект не присутствует среди основных предикатов нашей версии квантовой механики. Не встречается он и в теории измерений. В самом деле, физическая теория не занимается психическими событиями, происходящими в голове наблюдателя; физическая теория измерений описывает, по существу, лишь некоторое физическое пересечение двух или более физических сущностей, из которых по крайней мере одна должна быть макросистемой.

Согласно обычной версии квантовой механики, вмешательство наблюдателя производит мгновенную редукцию квантового состояния, которое проектируется в собственное состояние оператора, представляющего измеряемую «наблюдаемую». Кроме того, этот коллапс якобы не подчиняется никаким закономерностям и, следовательно, непредсказуем, поскольку отсутствует какое-либо закономерное соотношение между начальным и конечным состояниями. Но этот постулат ведет к противоречиям. Начнем с того, что он несовместим с уравнением Шредингера¹ и поэтому его нет в нашей формулировке

¹ И. фон Нейман. Математические основы квантовой механики, М., 1964.

квантовой механики. Кроме того, проекционный постулат, обуславливающий коллапс «волновой функции» взглядом Наблюдателя, ставит это явление вне принципа закономерности, который является основной онтологической предпосылкой научного исследования¹.

Квантовая теория измерений должна быть построена как применение элементарной квантовой механики к частному случаю взаимосвязи квантона с инструментом, находящимся в нестабильном состоянии и способным усилить нужные нам микрофакты. К сожалению, в нашем распоряжении пока нет такой теории, за исключением отдельных попыток, так и не вышедших за рамки начальной стадии и не получивших дальнейшего развития. Это произошло главным образом потому, что большинство физиков последовало за математиком фон Нейманом², полагая, что существуют универсальные измерительные установки, то есть инструменты, способные измерять все; действие последних может быть выражено одним простым понятием — понятием проекционного оператора. Но совершенно независимо от технической стороны вопроса философ может компетентно критиковать позитивистский тезис, что квантовая механика основывается на анализе измерительных процессов, а также и более крайнее утверждение, что вся квантовая механика в целом есть наука об измерениях. Эти тезисы ошибочны по следующим причинам: (а) ни одно измерение не может быть запланировано и интерпретировано без помощи теорий; (б) измерения подразумевают макропроцессы, тогда как квантовая механика занимается микрособытиями; (с) по этим причинам квантовая теория измерений, в той степени, в какой она существует, является прикладным разделом элементарной квантовой механики; (д) следовательно, любое квантовомеханическое утверждение относительно измерения должно рассматриваться как производное утверждение, а не как аксиома квантовой теории.

Преимущество нашей версии квантовой механики состоит также в том, что она делает очевидной тщетность так называемой квантовой логики Биркгофа и фон Ней-

¹ M. Bunge, *Scientific Research*, New York, 1967.

² И. фон Нейман, *Математические основы квантовой механики*.

мана¹, Дегуш-Феврие² и др. Основной довод, выдвигаемый защитниками этой экзотической логики, состоит в следующем. Если квантовая механика верна, то высказывания «квантон x находится в точке y в момент времени t » и «квантон x движется со скоростью v в момент времени t » будут взаимно несовместимыми, что следует из соотношений Гейзенберга для дисперсий распределений некоммутирующих величин. Отсюда вроде бы напрашивается вывод, что квантовая механика предполагает новое логическое исчисление, в котором запрещена конъюнкция определенных («несоизмеримых») утверждений. Подобные рассуждения основаны на том, что квантоны рассматривают как классические частицы. Но все трудности отступают, если квантоны представляют как вообще не имеющие точного положения и точной скорости и характеризующиеся точными распределениями положения и импульса (см. § 2). Этого достаточно, чтобы рассеять дополнительное облако квантовой логики. Но не необходимо: несовместимые высказывания встречаются на каждом шагу, и вполне достаточно обычной логики (двухзначное исчисление предикатов) для оперирования такими утверждениями. Если конъюнкция двух высказываний ложная, то все, что нам надо сделать, — это воздержаться от нее. Более того, аксиоматизация квантовой механики, так или иначе, с самого начала предполагает принятие определенных математических теорий, таких, как, например, анализ, основанный на классической логике. Поэтому принимать классическую логику на уровне оснований только для того, чтобы отрицать ее на уровне теорем, — значит впасть в противоречие.

Сейчас самое время перейти к заключению.

5. Заключение

Квантовая механика является одной из наиболее содержательных и глубоких теорий, однако с самого начала своего возникновения она была окутана туманом субъективистской эпистемологии, восходящей к Беркли

¹ G. Birkhoff and J. v. Neumann, *Annals of Mathematics*, 1936, vol. 37, p. 823.

² P. Destouches-Février, *La structure des théories physiques*, Presses Universitaires de France, Paris, 1951.

и Маху. Этот философский балласт обнаруживается не только в хаосе модных метаутверждений относительно квантовой механики, но и во многих подлинно объективных утверждениях общепринятой версии теории. В итоге ее референты становятся — перефразируя обвинение Беркли в адрес сомнительных бесконечно малых Ньютона — призраками, оторванными от физических сущностей.

Часто с завидной уверенностью утверждают, что союз квантовой механики с субъективизмом и, в частности, с позитивизмом нерасторжим. Подобное мнение привело одних к полному отрицанию квантовой механики, других к намерению перестроить ее в классическом духе, в то время как большинство стоически продолжает жить в тумане. Тем не менее физики успешно применяют и расширяют фундаментальную теорию, причем в своей повседневной работе они, как правило, не обращают никакого внимания на существующий философский балласт. Уже только этот факт должен был бы навести на мысль, что союз квантовой механики и субъективистской эпистемологии был *mariage de convenance* (браком по расчету), при помощи которого позитивизм повысил свой престиж, в то время как новая наука, вначале неохотно воспринявшая из-за ее разрыва с классической физикой, воспользовалась поддержкой столь модной среди ученых философии.

В настоящее время этот брак превратился в *мезальянс* и должен быть расторгнут. В самом деле, (а) субъективистская эпистемология, которая поддерживается логическим позитивизмом, в настоящее время мертва или близка к тому вследствие внешней критики и честной самокритики внутри самого позитивистского лагеря; (б) можно устранить субъективистский балласт, обременяющий квантовую механику, превратив ее в строго физическую теорию, свободную от психологических элементов. Поступив таким образом, квантовая механика не останется незамужней, а возьмет себе нового философского супруга — реализм. Конечно, не наивный реализм, а реализм, который, постулируя самостоятельное существование внешнего мира, готов корректировать любую его концептуальную реконструкцию, реализм, признающий, что наша цель — отобразить на карте те или иные области реальности — может быть достигнута лишь постепенно

и весьма несовершенным и символическим способом, а не полностью и буквально. (Вспомните главу 4, § 4.)

Поэтому лагерь реалистов далек от самодовольства и благодушия и находится в движении. Хотя квантовая механика уже не может больше служить живым доказательством несостоятельности реализма, тем не менее существующие виды реализма все еще плохо развиты. Пока не удалось дать подробное описание и анализ тех изоциренных способов, с помощью которых в научном исследовании создают и проверяют концептуальные модели тех или иных областей реальности. Специалист по метафизике должен осознавать существование этой проблемы. До сих пор он говорил, что, согласно квантовой механике, материя скорее подобна разуму, чем собственно материи, и по этому поводу можно было огорчаться или радоваться. Однако теперь можно ясно понять, что материя не была дематериализована квантовой механикой¹. Просто ее физическое описание оказалось гораздо более сложным, чем предполагалось в классической механике и классической теории поля. Квантоны слишком многолики (*proteic*) и едва ли могут быть отображены в классических терминах. Но в любом случае они находятся вне нас, у дверей онтологии, требуя новых взглядов на некоторые онтологические категории, такие, как субстанция, форма, движение, новизна, детерминация, причинение, случайность и закон. Возможно, новая физика, однажды очищенная от устаревшей философии, сможет стимулировать новое развитие в эпистемологии и онтологии². И вполне возможно также, что новая философия будет способствовать научному прогрессу, а не препятствовать ему. Кое-что можно сделать уже сейчас, например, помочь отделить зерна теории от плевел эвристики — как это будет показано в следующей главе.

¹ H. Feigl, *Philosophy of Science*, 1962, vol. 29, p. 39.

² Предположение относительно этого направления см.: M. Bunge, *Method, Model and Matter*, Dordrecht, 1972.

Аналогия
и дополнительность

Аналогия, несомненно, плодотворна, но и коварна. По существу, она может служить трем полезным целям. *Эвристической* — для классификации, обобщения, нахождения новых законов, построения новых теорий и интерпретации новых формул. *Вычислительной* — для решения вычислительных проблем с помощью аналогий (например, электрические модели механических систем). *Экспериментальной* — для решения проблем эмпирической проверки путем оперирования теми или иными аналогами, в частности копиями и моделями (например, экспериментальный анализ напряжений в стальных телах на прозрачных пластиковых моделях). Мы остановимся здесь на первой функции аналогии в том виде, как она проявляется в квантовой теории.

Утверждение, что вектор состояния микросистемы является представителем некоторой реальной волны (первоначальная интерпретация де Бройля — Шредингера), основывается на формальной аналогии между квантовомеханическим уравнением состояния и классическими волновыми уравнениями. Это вывод по аналогии, а именно по аналогии формального вида¹. В начале развития квантовой теории эта интерпретация понималась не метафорически, а буквально, то есть формальная аналогия воспринималась как указатель аналогии

¹ Разъяснение по поводу понятий формальной и субстанциальной аналогии см.: Н. Metzger, *Les concepts scientifiques*, Alcon, Paris, 1926; М. Bunge, *Scientific Research*, 1967; М. Bunge, *British Journal for the Philosophy of Science*, 1967, vol. 18, p. 265; М. Bunge, *Method, Model and Matter*, 1972.

субстанциальной. Вскоре после этого Борн доказал, предложив свою стохастическую интерпретацию, что на основании формальной аналогии нельзя делать вывода о каком-либо субстанциальном подобии и что вектор состояния характеризует не специфическую субстанцию, как-то распределенную по пространству, занимаемому системой, а состояние системы. Возможно, что без этой аналогии не смогла бы родиться волновая механика и так называемая дифракция волн материи не считалась бы ее решающим эмпирическим подтверждением. Однако существование этой интерпретации наряду со стохастической (которая в свою очередь формулируется на корпускулярном языке) ответственно за многие концептуальные (не вычислительные и не эмпирические) трудности квантовой теории. Это будет далее показано.

1. Обоюдоострая аналогия

Нет сомнения в том, что аналогия может быть плодотворной при предварительном исследовании новой научной области. Это наводит на мысль, что новое и неизвестное в некоторых отношениях подобно старому и известному. Если B ведет себя в некоторых аспектах подобно A , то имеет смысл выдвинуть гипотезу о том, что так же обстоит дело и в других отношениях. Независимо от того, насколько плодотворной окажется такая гипотеза, мы чему-нибудь научимся; в противном случае мы не научимся ничему. Стоит только некоторой гипотезе по аналогии пройти проверку, и мы будем знать, на самом ли деле A и B субстанциально или формально подобны. Если же аналогия окажется непригодной, мы поймем, что необходимо обратиться к каким-то радикально новым идеям, поскольку B в некотором отношении существенно отличается от A . Однако если аналогия не слишком частная или детальная, то можно надеяться, что она будет справедливой в первом приближении, ибо в конце концов наш концептуальный арсенал ограничен, и не существует систем, тождественных друг другу во всех отношениях. Проблема состоит в том, чтобы решить, на что обратить внимание на данной стадии исследования, чему придавать большее значение — сходству или различию.

Элементарная трактовка рассеяния света электронами (эффект Комптона) — типичный пример начального триумфа и конечной неудачи аналогии как метода исследования еще неизвестного. Если представить электрон и фотон в образе частиц (это предположение отсутствует в более развитой и более полной трактовке), то проблема сводится к упругому столкновению двух тел, откуда можно получить формулу для сдвига частот рассеиваемого излучения, не обращая пока внимания на тот факт, что появление этой частоты в рамках механики никак не объясняется. То есть если мы ограничиваем наше внимание изменениями импульса и пренебрегаем всем остальным, то аналогия фотона с шариком, трудная как в субстанциальном, так и формальном отношении, оказывается плодотворной. Но она терпит неудачу, как только ставятся дальнейшие вопросы. На некоторые из них эта аналогия подскажет ошибочные ответы, тогда как на другие ответа не будет получено вообще, поскольку в рамки этой аналогии они просто не укладываются. Например, данная аналогия предполагает вопрос о массе фотона, и ошибочный ответ, что она равна $h\nu/c^2$, поскольку импульс фотона равен $h\nu/c$, а скорость — c . Это абсурдно, так как без массы покоя нет и относительной массы, как не существует массы покоя без покоящейся системы отсчета, не говоря уж о том, что не существует никакого уравнения движения фотона. Помимо этого, механическая аналогия не поможет нам и рассчитать поперечное сечение рассеяния, так как для этого требуется принять во внимание некоторые электромагнитные и квантовомеханические свойства электрона и фотона.

Аналогия, таким образом, вещь обоюдоострая. С одной стороны, она способствует исследованию неизвестного, вдохновляя нас экстраполировать предшествующее знание на новые области. С другой стороны, если мир многообразен, аналогия должна рано или поздно обнаружить свою ограниченность, так как радикально новое по самой сути есть то, что не может быть полностью объяснено с помощью знакомых и привычных терминов. Так, видимо, обстоит дело с аналогиями, которые помогли построить квантовые теории (в частности, с корпускулярной и волновой аналогиями). Они уже давным-давно достигли границ своего применения.

Несомненно, что вполне естественные попытки черпать вдохновение в классической физике вначале были оправданы хотя бы тем, что электроны и фотоны иногда ведут себя как частицы, а иногда как поля. И ничто, кроме аналогии, не могло помочь придать какой бы то ни было физический смысл волновой и матричной механике, а в дальнейшем и квантовой электродинамике. Но здесь следует учесть по крайней мере два урока. Первый состоит в том, что корпускулярная и волновая аналогии весьма слабые и, кроме того, взаимно несовместимые. Второй урок говорит нам о том, что объекты, которые описывает квантовая теория, ведут себя довольно своеобразно, то есть согласно неклассическим законам, и поэтому не могут быть ни классическими телами, ни классическими полями. Поэтому пришлось признать, что квантовым теориям необходимо избавиться от классических аналогий, а также что они имеют дело с *sui generis* — вещами, которые заслуживают нового родового имени, скажем имени *квантонов*¹.

2. Корпускулярно-волновой дуализм в оптике

Со времени Юнга, Френеля и Коши вплоть до рождения фотонной гипотезы в 1905 году в оптике господствовало несколько волновых теорий. С 1905 года и до создания квантовой электродинамики в 1927 году для объяснения фактов в области оптических явлений использовались две взаимно несовместимые совокупности идей: полевая теория Максвелла и множество предположений (едва ли их можно назвать гипотетико-дедуктивными системами), группировавшихся вокруг фотонной гипотезы. Предполагали, что природа света должна быть дуальной, и эта дуальность часто рассматривалась как несводимая к чему-либо более фундаментальному.

Квантовая электродинамика была построена с целью приведения корпускулярно-волнового дуализма к непротиворечивой совокупности идей. Широко распространено мнение, что квантовая электродинамика эту задачу успешно выполнила, поскольку она приписывает фотону

¹ M. Bunge, *Foundations of Physics*, New York, 1967.

как импульс, так и момент импульса (или, скорее, квантовые аналоги таковых). Конечно, это не свидетельствует о том, что квантовая электродинамика рассматривает фотон как частицу. Во-первых, квантовая электродинамика отрицает два корпускулярных свойства фотона, а именно: точную локализацию (следовательно, и определенную траекторию) и массу. Во-вторых, квантовая электродинамика не содержит никакого уравнения движения в собственном смысле слова. Все ее основные уравнения, включая перестановочные соотношения, являются полевыми уравнениями, ни одно из которых не содержит траекторий фотона в обычном пространстве. (Правда, любая формула для скорости изменения во времени динамической переменной называется уравнением движения, но это только метафора, ибо нет необходимости связывать ее с каким-либо движением.) В-третьих, свойства, которые квантовая электродинамика приписывает полю излучения, являются немеханическими. Например, электрическая и магнитная составляющие, фазы и независимость скорости распространения поля от системы отсчета.

Во всяком случае, квантовая электродинамика остается более близкой к теории поля Максвелла, чем к механике. В конце концов, она является результатом квантования уравнений Максвелла. Квантовые свойства поля не следует ошибочно принимать за его механические или корпускулярные свойства. Так, тот факт, что импульс фотона можно прибавить к механическому импульсу кусочка вещества (matter) и получить в итоге сохраняющуюся величину, отнюдь не доказывает механической природы фотонов, как не доказывает он и электромагнитной природы кусочка вещества, как и возможность сложения энергии различных видов не доказывает их тождества с механической работой. Все это говорит о том, что четырехмерный вектор энергии-импульса, в отличие от массы и заряда, является не специфическим свойством, то есть свойством, характеризующим любую известную ранее физическую систему. Подобным же образом возможность разложения энергии поля на энергию излучения осцилляторов доказывает не то, что поле представляет собой механическую систему, и что гамильтонов формализм является неопределенным (incommittal) и допускает механические аналогии,

которые иногда вводят в заблуждение¹. Если мы воплощаем различные теории в одну и ту же математическую форму, скажем в гамильтонову, то мы должны получить и формальные аналогии. Но нам не следует гипостазировать это математическое подобие, утверждая, что Природа, например, вся механическая (или вся электромагнитная).

Короче говоря, корпускулярно-волновой дуализм, нарушивший в 1905 году единство электромагнитной теории, стимулировал создание другой теории — квантовой электродинамики, элиминирующей дуализм. Даже в своих наиболее утонченных вариантах квантовая электродинамика является полевой теорией, не содержащей никаких гипотез о корпускулярной природе фотонов. Дуализм света в таком случае просто пережиток междоуцарствия 1905—1927 годов, реликвия, служащая главным образом тому, чтобы укрепить студентов в ошибочном мнении, будто бы свет может быть одновременно и волной, и не волной, более того, что он вообще выглядит так, как того пожелает всемогущий Наблюдатель.

3. Корпускулярно-волновой дуализм в квантовой механике

Корпускулярно-волновой дуализм подсказал де Бройлю вопрос: а не обнаруживает ли и вещество подобного дуализма? Если электромагнитное поле имеет, по-видимому, какую-то механическую сторону, то вполне также возможно, что и вещество обладает аспектами, подобными полю. «Идея такой симметрии была отправной точкой волновой механики»². Однако крайняя плодотворность подобной аналогии еще не доказывает ее субстанциальный, а не формальный характер.

К счастью, де Бройль и Шредингер не смогли, видимо, в то время ясно понять, что формализмы Гамильтона и Гамильтона-Якоби столь общи, что могут вместить почти любую физическую теорию от механики до термодинамики. Если бы они знали это, то, возможно, не

¹ M. Bunge, *American Journal of Physics*, 1957, vol. 25, p. 211.

² L. de Broglie, *Matière et Lumière*, Gauthier-Villars, Paris, 1937; см. также: E. Schrödinger, *Annalen der Physik*, 1926, vol. 79, S. 489.

удивились бы аналогии между оптическим принципом Ферма и механическим принципом Гамильтона и, следовательно, упустили бы возможность создать волновую механику. Но если мы не возражаем против менее наглядной матричной механики, то нужно отказаться от убеждения в том, что квантовая механика имеет дело с волнами особого вида (волнами вещества).

Своеобразие и несводимость квантовой механики становится ясной уже из того, что эта теория может быть сформулирована, не опираясь на эвристику де Бройля и Шредингера. Хотя до сих пор, когда имеют дело с этой частной формулировкой квантовой механики («картина» Шредингера), используют такие выражения, как «волновая функция», «волновой пакет», «длина волны» и «волновое уравнение», но все же их стремятся рассматривать лишь как односторонние классические аналогии. Сам смысл фразы: «Волна де Бройля ассоциируется с некоторым электроном» — показывает, что мы больше не верим в то, что электроны должны быть волнами. Мы стремимся думать о векторе состояния как о некотором глобальном и основном свойстве физической системы, а не как о вещи или о специфическом свойстве, подобном массе. Мы уже не убеждены, что так называемые элементарные частицы являются простыми корпускулами. Существует тенденция представлять их как квантовые сущности, обладающие как корпускулярными, так и волновыми свойствами, которые поочередно выдвигаются или выступают из темноты при различных обстоятельствах. Мы будем критиковать это убеждение, ибо оно основано на аналогии. Прежде чем приступить к критике, мы должны вспомнить, каковы все-таки были основания для такого мнения. Ведь физики могут быть упрямыми, но они редко бывают капризными.

Существуют два аргумента в пользу корпускулярно-волнового дуализма вещества. Один основывается на множестве экспериментов, а другой — на множестве формул. Эксперименты, которые имеют дело с частицами материи и могут быть привлечены в пользу дуализма, распадаются в свою очередь на два вида. В одних на первый план выдвигаются корпускулярные свойства (например, треки протонов на фотографических пластинках), в других доминирующими оказываются волновые свойства (например, рассеяние электронов ре-

гулярным расположением атомов). Но это едва ли что-либо доказывает относительно природы рассматриваемых микросистем, так как экспериментальные установки являются макрофизическими и исходы экспериментов описываются в классических терминах частиц и волн. Все это только говорит о возможности использовать классические идеи, когда речь идет о макроуровне. Но это мы знали с самого начала. (Подробнее см. § 5.)

С другой стороны, обычная, или копенгагенская, интерпретация квантовой механики права, подчеркивая, что «волновой аспект» и «корпускулярный аспект» зависят от экспериментальной установки. Так, любой электрон будет вести себя не одинаково, проходя через дифракционную решетку или же находясь в поле рентгеновского излучения. Одним словом, подобие квантона либо частице (классической сущности), либо пульсации поля (классической сущности) может контролироваться с помощью экспериментального устройства, или же, как ошибочно говорят приверженцы копенгагенской доктрины, оно зависит от наблюдателя. Иначе говоря, квантон, этот изменчивый и многоликий (*proteic*) объект, под действием макросистемы (например, какой-либо экспериментальной установки) может принять форму либо (псевдо)частицы, либо (псевдо)волны в зависимости от взаимодействия с макросистемой. (Излишне говорить, что последняя является физической, а не психологической системой. Более того, она не обязательно должна быть творением человеческих рук, и в природе можно найти дифракционную решетку и другие фильтры.) Но, конечно, подобие не доказывает тождества.

Копенгагенская школа права также в утверждении, что индивидуальный квантон не имеет сам по себе ни корпускулярного, ни волнового аспекта, а составная система квантон — макросистема («система — наблюдатель» в обычной, вводящей в заблуждение терминологии) может приобретать любой из этих аспектов и в любой степени в зависимости от природы макросистемы (от «решения наблюдателя» в антропоцентристской интерпретации этой школы). Поэтому, если настаивают на использовании классических образов, то необходимо покончить с дуализмом и отрицанием самостоятельного существования квантона. Одним словом, дуализм и субъективизм — это не только философские догмы, при-

сущие копенгагенской школе. Они являются также следствиями классицизма — метода мышления по аналогии.

К счастью, существуют измерения, такие, как спектроскопические, которые связаны не с квантоном, над которым доминирует макросистема, а относятся к квантонам в свободном пространстве. Результаты этих измерений с достаточным приближением подтверждают квантовую механику и квантовую электродинамику. Поскольку последние могут быть сформулированы без использования понятий частицы и волны, избавляя нас от аналогий, то эти эмпирические результаты наводят на мысль о том, что «корпускулярный аспект» и «волновой аспект» зависят от прибора (а не от наблюдателя и не являются субъективными) и поэтому не могут указать на то, чем является в действительности свободный квантон. Иными словами, сколь бы парадоксальным это ни могло показаться, один только эксперимент не в состоянии ни доказать, ни опровергнуть двойственной природы квантонов, в частности, если его результаты описываются на классическом языке. Для того чтобы утверждать, поддерживают ли квантовые теории дуализм или нет, мы должны проанализировать сами эти теории. Если они действительно являются дуалистическими и, кроме того, верными, то надо поддержать дуализм, в противном случае его следует отвергнуть.

4. Дуализм — противоречивая гипотеза, выдвинутая *ad hoc*

Для того чтобы определить, является ли дуализм внутренне присущим квантовой теории, нужно проанализировать формулы квантовой механики и квантовой электродинамики, а не высказывания о них и, конечно, не отдельные по соглашению выбранные формулы, а основные из них, то есть аксиомы этих теорий. К сожалению, это делается редко. Обычная процедура состоит в отборе именно тех формул, которые свидетельствуют в пользу догмы дуализма, как будто это может гарантировать дуалистическую интерпретацию и остальных формул теории. Во всяком случае, формулами, которые главным образом привлекаются в поддержку дуализма, являются равенство де Бройля « $p\lambda = h$ » и неравенство Гейзенберга « $\Delta x \cdot \Delta p \geq h/4\pi$ ». Однако λ едва ли можно квалифицировать как длину волны, ибо, как подчеркнул

Ланде, длина волны инвариантна относительно преобразований Галилея, тогда как импульс p — нет. А дуалистическая интерпретация второй формулы несовместима со стохастической интерпретацией вектора состояния, которая была дана Борном и из которой следует, что « Δx » (а также « Δp ») обозначают стандартное отклонение или статистическое рассеяние около среднего значения. Стохастическая интерпретация почти или даже вообще не имеет дела с размерами волнового пакета, с апертурами отверстий в дифракционных установках и другими элементами дуалистической интерпретации¹.

Однако в обычном учебнике и не пытаются согласовать указанные формулы со стохастической интерпретацией Борна, которой они противоречат. В частности, обычно колеблются между взаимно несовместимыми интерпретациями ' Δx ' и ' Δp ' как объективной неопределенности положения (импульса) *частицы*, пространственной (спектральной) ширины *волнового пакета*, ассоциируемого с *частицей*, величины возмущений положения (импульса) *частицы*, вызываемых прибором, и как объективной неточности наших знаний относительно действительного положения (импульса) *частицы*, дифрагирующей (подобно волне) через щель. Весьма редко осознается, что это странное поведение противоречиво и потому ненаучно. Точно так же обычно не указывается на то, что каждая из этих интерпретаций является интерпретацией ad hoc в том смысле, что она произвольно навязывается рассматриваемым символам без каких-либо на то оснований. Действительно, во-первых, постулаты квантовой механики вовсе не утверждают, что квантоны — это частицы, или же конституэнты поля. Во-вторых, для того чтобы вывести соотношения Гейзенберга из постулатов квантовой механики, не делается никаких предположений относительно прибора или наблюдателя, следовательно, логически недопустимо говорить о них на уровне общей теории. Поступать иначе — значит впасть в семантическое противоречие (см. гл. 6, § 1).

В других случаях утверждают, что квантовая механика состоит из двух взаимно эквивалентных теорий, из

¹ A. Landé, *New Foundations of Quantum Mechanics*, Cambridge University Press, 1965; M. Bunge, *Foundations of Physics*, 1967.

которых одна сформулирована на языке частиц, другая на языке волн. Это неверно. Существует много, а не только две, различных формулировок квантовой механики, и большинство из них математически изоморфны, из чего не следует, однако, что им необходимо приписывать одно и то же значение. Одной из этих формулировок является «картина» Шредингера, в которой вектор состояния зависит от времени, другой — «картина» Гейзенберга, где от времени зависят динамические переменные. Помимо этого, существуют формулировки, основанные на матрице плотности и интегралах по путям. В общем, это эквивалентные формулировки одной и той же теории — далекие от наглядности символические конструкции высокого уровня абстракции. Формулировка Шредингера предполагает аналогию с классическими теориями поля. Формулировки Гейзенберга и Фейнмана привлекают аналогии с классической механикой частиц, а формулировка на основе матрицы плотности, если вообще и допускает какую-либо аналогию, то только с классической статистической механикой. По мнению Дирака, для понимания квантовой механики наиболее подходит «картина» Гейзенберга¹. Но ни одна из этих интерпретаций не может быть проведена непротиворечивым образом. Подобные аналогии формальны, то есть они относятся к формальному сходству между некоторыми (но не всеми) квантовомеханическими формулами и некоторыми классическими формулами. Помимо всего, ни одна из этих аналогий не может быть перенесена на квантовую электродинамику.

Итак, от оптико-механической аналогии, которую использовали в качестве плодотворной рабочей гипотезы, следовало бы теперь отказаться, ибо она пережила цели, которым служила, и теперь становится источником путаницы.

5. Взлет и падение дополнительности

В середине двадцатых годов наиболее выдающиеся физики полагали, что они должны примириться с двумя дуальностями: двойственной природой, приписываемой

¹ P. A. M. Dirac, Proceedings of the Royal Society, 1972, vol. A328, p. 1.

электромагнитному полю, и возможной двойственностью вещества. Но от этой двойной дуальности был всего лишь один шаг до утверждения широкого онтологического предположения о том, что любая физическая сущность обладает как корпускулярным, так и волновым аспектами. Это и есть тезис о *всеобщем дуализме*; он является метафизической гипотезой, так как касается фундаментальной природы всего сущего. Когда была построена квантовая механика, соотношения разброса («неточности») Гейзенберга были интерпретированы с точки зрения дуализма и как непосредственная иллюстрация к нему. *Принцип дополнительности* Бора, который, подобно принципу Маха или доктрине Монро, никогда не формулировался недвусмысленным образом, позволял ясно понять лишь то, что он является некоторой спецификацией, а также реинтерпретацией общего дуализма. Это была спецификация или конкретизация, так как, кроме тезиса дуальности, принцип дополнительности утверждает, что, чем больше усиливается один из двух аспектов, тем более неопределенным становится другой. Чем больше *им*, тем меньше *я*, и наоборот¹.

Но в отличие от онтологического тезиса о всеобщности дуализма, принцип дополнительности, как утверждают, имеет отношение к комплексу субъект-объект, а не к самостоятельно существующей микросистеме. В самом деле, ортодоксальная формулировка принципа не утверждает, что корпускулярная и волновая черты микросистемы как-то уравниваются друг друга. Напротив, дополнительными могут быть либо пара макроскопических экспериментальных устройств (включая наблюдателя), либо пара описаний результатов операций, выполняемых с помощью таких лабораторных установок, либо, наконец, пара понятий. Короче говоря, дополнительность усиливает дуализм, истолковывая его несколько более точно, хотя все же и недостаточно точно. С другой стороны, она ослабляет двойственность, не приписывая ее природе. Вещи в себе, то есть атомы в свободном пространстве, не будут иметь двойственную природу, более того, они будут простой игрой воображения без дис-

¹ Взаимно дополняющие друг друга сущности в традиционной китайской философии. — *Прим. ред.*

циплины субъективно ориентированной философии копенгагенской школы.

Далее, поскольку предполагается, что экспериментальные устройства и их результаты должны описываться классическим образом, принцип дополнительности остается по ту сторону квантовой механики и квантовой электродинамики. Строго говоря, это не квантотеоретическое утверждение, так как оно не имеет отношения к микросистемам. Если его рассматривать как принцип квантовой механики или квантовой электродинамики, то он приходит в противоречие с утверждением, что микросистемы удовлетворяют неклассическим законам и поэтому должны описываться и объясняться в неклассических терминах. Строго говоря, принцип дополнительности вовсе не является принципом, ибо из него ничего не следует. В самом деле, из него не выводится ни одной теоремы. Для того чтобы доказать теорему в квантовой теории, берут группу аксиом обычно вместе с множеством специфических гипотез, скажем, относительно ряда микросистем и их взаимодействий — одним словом, к общим предположениям добавляют определенную модель (см. § 8). Однако делают это, не используя принцип дополнительности, который является слишком широким и неопределенным, чтобы из него что-либо следовало. (В частности, этот псевдопринцип не находит никакого применения в квантовой электродинамике, так как статистический разброс компонент электромагнитного поля не поддается корпускулярной интерпретации.) Как видим, псевдопринцип дополнительности не является ни принципом, ни теоремой, не является он также и столь общим, как это обычно утверждается, ибо он недействителен для полей. А в квантовой теории «частиц» более высокого уровня (вторичное квантование) поле трактуется как изначальная вещь. Так, в случае электронов или мезонов материальное поле рассматривается как первичная сущность, тогда как «частицы», или, вернее, корпускулярно-подобные сущности, являются квантами поля, то есть его составляющими. (Любое собственное значение оператора чисел заполнения представляет число сущностей в данном состоянии, и эти сущности — кванты поля — не являются классическими частицами.) Иными словами, любая теория вторичного квантования более близка к классической теории поля, чем к

классической механике, хотя и может быть изложена с помощью гамильтонова или лагранжева формализмов. Следовательно, в более утонченных разделах квантовой теории для дополнительности не находится места. Не находится его и во всех феноменологических теориях, таких, как формализм матрицы рассеяния, которые избегают детального описания поля.

Чем же тогда, кроме преклонения перед авторитетами, объяснить жизнеспособность дополнительности? Главная причина, видимо, в ее большой полезности. В самом деле, дополнительность оправдывает многие трудности и объясняет эксперименты двух видов, а именно: мысленные эксперименты, которые никогда не могут быть выполнены, и реальные эксперименты, которые никогда не просчитывались в квантотеоретических терминах. Первое преимущество очевидно: если принимается определенный псевдопринцип, то его можно использовать для того, чтобы осветить неясности и противоречия, точно так же как таинство троицы объясняет (*subsumes*) другие менее значительные таинства. Что же касается экспериментов, которые, как утверждают, иллюстрируют этот принцип, то они фактически являются или мысленными, или все еще находятся вне пределов теории. Среди первых можно отметить гамма-микроскоп Гейзенберга и эксперимент с затвором, который был предложен Бором в его дискуссии с Эйнштейном. Поскольку они не имеют никакой доказательной силы, мы можем оставить их в стороне. Среди экспериментов второго типа выделяются эксперименты по дифракции. К сожалению, дифракция на одной щели рассчитана только для бесконечно длинной щели и монохроматической «волны» де Бройля. Помимо этого, имеющиеся в нашем распоряжении вычисления весьма приближенны, а их результат недвусмысленно противоречит неравенствам Гейзенберга¹, что, конечно, лишает эти вычисления убедительности. Столь часто обсуждаемый эксперимент с двумя щелями никогда не был точно просчитан в квантовой механике, не говоря уже о квантовой электродинамике. Далее, в наиболее полной (681 страница) и точной недавно вышедшей работе Ньютона², посвященной проблеме рассеяния,

¹ G. Beck and H. Nussenzveig, *Nuovo Cimento*, 1958, v. 9, p. 1068.

² R. G. Newton, *Scattering Theory of Waves and Particles*, McGraw-Hill, New York, 1966.

стандартные мысленные эксперименты, которые мы встречаем в дискуссиях по квантовой теории, вообще не рассматриваются. (С другой стороны, как ни странно, этот эксперимент может быть объяснен в чисто корпускулярной манере с помощью классической квантовой теории Бора как эффект периодичности рассеивающей решетки¹.) Правда, обсуждение этих экспериментов имеет в основном качественный характер, и в нем используется мало формул, но все они взяты из общей теории и не являются результатом применения теории к анализу каких-либо конкретных обстоятельств. Имеются, конечно, картины дифракции, полученные с очень высокой точностью, но они взяты из реальных, не полностью просчитанных экспериментов или же заимствованы из классической оптики. Одним словом, обсуждение таких экспериментов в терминах концепции дополнительности чисто словесное и построено на аналогиях. Следовательно, концепция дополнительности не является частью или разделом квантовой теории.

В конечном счете идея дополнительности, хотя она и представлялась разумной на заре квантовой теории, когда люди мыслили с помощью классических образов, в настоящее время исчерпала свои потенции, которые она, возможно, имела. В настоящее время она стала оправданием неясностей и противоречий.

6. К точной интерпретации квантовой теории

Некоторые физики полагали, что понятия волны и частицы не имеют отношения к квантовой механике, представляя собой лишь классические метафоры. Так, Шредингер считал одно время, что волна и частица являются «образами, которые мы вынуждены сохранить, так как не знаем, как от них освободиться»². Впечатление, что эти понятия — именно метафоры, образы или просто визуальные опоры мышлению, усиливается тем фактом, что они не встречаются в любой попытке сформулировать квантовую механику упорядоченным, то есть аксиоматическим, образом. Действительно, они не

¹ A. Landé, *New Foundations of Quantum Mechanics*, 1965.

² E. Schrödinger, *Mémoires sur la mécanique ondulatoire*, Gauthier-Villars, Paris, 1933, p. XIV.

встречаются ни как первичные, исходные, ни как производные понятия; следовательно, они не должны фигурировать в каких-либо теоремах. Главная причина того, что эти классические аналогии все еще играют важную роль в дискуссиях по основаниям квантовой механики и даже квантовой электродинамики, заключается, видимо, в своеобразной инерции мышления.

Хотя большинство из нас ясно понимает, что квантовые теории — это карта новой территории, мы упорствуем в попытках понять ее с помощью классических терминов, примерно так же как Колумб назвал Индией открытые им острова, потому что не осознавал всей новизны своего открытия. Мы находим удобным называть ψ *волновой функцией* и рисуем образы волновых фронтов только для того, чтобы указать, что «волна» есть комплексная функция и она нужна нам для того, чтобы иметь сведения о наиболее вероятном нахождении *частицы*. Мы находим интуитивно приемлемым называть уравнение Шредингера *волновым уравнением*, однако считаем необходимым добавить, что оно определяет распространение ψ в $3N$ -мерном пространстве. Мы находим удобным говорить о *дифракции частиц* на кристалле (почему не о столкновении волн?) и о фазовом сдвиге *частицы*, ассоциируемой с *волной*, который порожден некоторым внешним полем. Мы сохраняем нагромождение противоречий, надеясь на то, что принцип дополнительности, подобно исповеди, отпустит наши грехи.

Но мы можем сделать еще лучше. Ретроспективно и при определенной изобретательности можно заново сформулировать классическую физику способами, напоминающими способы квантовой теории. Так, можно сформулировать классическую механику частиц в рамках формализма Гамильтона-Якоби как волновую теорию, имеющую дело с распространением фиктивной волны, построенной с помощью решения уравнения движения. Если потребуются классические аналогии вторичного квантования, то они также могут быть представлены¹. Короче говоря, точно так же, как почти любая нерелятивистская квантовомеханическая формула может быть

¹ См.: R. Bourett, *Physical Letters*, 1964, vol. 12, p. 323, а также: R. Schiller, in: *Delaware Seminar in the Foundations of Physics* (ed. M. Bunge), Springer-Verlag, New York, 1967.

ошибочно интерпретирована в классических терминах, так и любая классическая формула может быть переформулирована (псевдо)квантовым образом. К сожалению, мало какие из этих запоздавших аналогий являются собой нечто большее, чем просто формальную игру. Они редко приводят к новому пониманию и никогда не дают новых конкретных предсказаний. Пытаться открыть кванты в классической физике столь же безнадежное занятие, как пытаться объяснить квантовую механику и квантовую электродинамику с помощью классических терминов.

Избежать этого клубка противоречий, неясностей и метафор довольно просто: нужно рассматривать микросистемы как всецело языческие индивиды. Поэтому их следовало бы назвать языческими именами, такими, как *квантон* (имя семейства), и родовыми именами: *гилон* (от $\gamma\lambda\eta$ — вещество) и *педион* (от $\pi\epsilon\delta\iota\omicron\nu$ — поле). Даже наименования рассматриваемых теорий, вероятно, могли бы быть изменены, например, на *гилонику* (=квантовой механике), *педионику* (=квантовой теории поля) и *квантику* (единство первых двух). В конце концов, квантовая теория является удачливой выскочкой, и ей необходимо поэтому новое имя, скрывающее ее происхождение.

Конечно, вопрос не только в названиях: классические концепции должны быть либо переосмыслены, либо удалены из квантовой теории, если они не функционируют в ней так же, как и в классической физике. Так, в элементарной теории понятия массы, заряда и электромагнитного поля — классические. С другой стороны, например, оператор положения частицы, уже нечто другое: x обозначает просто точку в конфигурационном пространстве, и если нам не даны распределения вероятностей, то конкретное значение x ничего не говорит нам о локализации квантона. Лишь среднее квантовомеханическое значение x , полученное с помощью плотности вероятности, будет соответствовать классической координате положения, что доказывается как формальной структурой понятия, так и формальной аналогией между соответствующими уравнениями движения. Основания квантовой механики и квантовой теории поля могут и должны быть изложены без помощи классических аналогий и представлений об идеальных измерениях, точно так же как в настоящее время термодинамика формулируется

без фиктивного теплорода и обращения к циклам тепловой машины.

Только в тех случаях, когда ищут классические или полуклассические предельные соответствия и применяют общую теорию к рассмотрению частных случаев, имеют право вновь обращаться к классической физике. Мы можем попытаться найти квантовые толкования классических формул и, наоборот, классические аналогии квантовых формул. (Некоторое выражение S может быть названо *классической аналогией* квантотеоретического выражения Q , если и только если S и Q гомологичны в формально аналогичных формулах или S будет предельным соответствием Q .) Мы также пользуемся классической физикой, когда гипотетически вводим квантовые гамильтонианы или лагранжианы. Заимствование их из классической физики и переписывание в квантовомеханических терминах с помощью эвристических правил является законной практикой, при помощи которой можно получить новые гамильтонианы, которые нельзя объяснить в классических терминах. (Однако заимствование не оправдывается в двух важных случаях: когда классический гамильтониан не может быть однозначно симметризован и когда рассматриваются существенно новые взаимодействия, например обменное взаимодействие.) Во всяком случае, независимо от того, имеет или нет квантовая формула некоторую классическую аналогию, ее следовало бы интерпретировать не в классических терминах, а так, как это диктуется интерпретационными аксиомами теории. И эти предположения (также называемые «правилами соответствия» и «операциональными дефинициями») должны быть буквальными (*literal*), а не метафорическими и объективными, а не ориентированными на оператора.

Точная и объективная интерпретация приписывается любой физической теории путем сопоставления ее с любым из референциальных первичных символов некоторого физического объекта — сущностью, свойством, отношением или событием, а не с мысленной картиной или человеческими действиями. Так, вектор состояния не есть свойство, интерпретируемое как волновое поле (в стиле электромагнитного поля) или как некий носитель информации, а свойство, представляющее определенное состояние рассматриваемой системы, точно так же

как в статистической механике каждое состояние системы, содержащей N тел, отображается в точку в соответствующем $6N$ -мерном фазовом пространстве. Тот факт, что эволюция состояния системы описывается (в формализме Шредингера) некоторым уравнением, напоминающим волновое уравнение, еще не доказывает правомерности субстанциальной аналогии, и это тем более верно, если вспомнить о существовании многих других альтернативных метафорических интерпретаций¹.

Положение дел в области оснований определяет ситуацию и в прикладной области. Хотя мышление по аналогии и плодотворно для начала, в конечном счете оно приводит к путанице. Показательным примером служит теория многих частиц с ее двадцатью, или около того, квазичастицами и псевдочастицами. Так, по аналогии с электромагнитным полем было высказано предположение, что звуковые волны являются квантованными, то есть что кинетическая энергия упругого напряжения твердого тела равна целому числу звуковых квантов или фононов. Эта гипотеза была далее использована, например, в теории затухания ультразвука в твердом теле, получившей хорошее эмпирическое подтверждение. Однако данная аналогия все же поверхностна, хотя и плодотворна. В то время как фотон является конституэнтной электромагнитного поля и может существовать самостоятельно и независимо от своего источника, фонон не является столь независимым. Он представляет собой свойство сложной системы. Свободных фононов не существует. Подобным же образом обстоит дело с другими квазичастицами и так называемыми резонансами в теории элементарных частиц. Это состояния вещей, а не независимые вещи. Предполагая, что резонансы ведут себя подобно частицам или как если бы они были частицами, данная аналогия помогает углубить наше понимание, ибо опирается на готовый концептуальный механизм. Утверждая же, что они являются частицами, аналогия теряет смысл, ибо в этом случае отсутствуют основные характеристики частицы, такие, как независимое существование, локализация и масса. Однако в современной физической литературе таких вещей великое множество.

¹ M. Bunge, American Journal of Physics, 1956, vol. 24, p. 272.

7. Строгая интерпретация и объяснение — буквальное, а не метафорическое

Поэты, теологи и специалисты в области магии используют метафоры и аналогии, с помощью которых они рассуждают о предметах, ускользающих от непосредственного описания или, возможно даже, от рационального понимания. Преподаватели прибегают к метафоре и аналогиям с другой целью, а именно чтобы построить мост через пропасть между неизвестным и известным. Кто из нас не поддавался соблазну представлять электроны иногда как шарики, а иногда как волновые пакеты? Однако мы знаем, что эти образы, которые в лучшем случае лишь дидактические опоры, часто оказываются просто ловушками, как и все заменители реальных вещей. Поэтому мы попытаемся обойтись без них в нашем исследовании. Мы хотим, чтобы наука имела дело с тем, что суть вещи, а не с тем, что только выглядит подобно вещам. Наука не поэзия, не теодицея и не черная магия! Если мы и хотим использовать аналогию в качестве проводника в наших предварительных исследованиях (отметьте эту метафору), то мы все же чувствуем, что было бы ошибочно позволять ей играть какую-либо роль в зрелой теории, так как нам необходимо иметь описание самой вещи, а не ее поверхностное подобие. Иными словами, если мы стремимся к объективности, нам нужны *точные интерпретации* — даже если они не дают никаких привычных, наглядных образов. Только математиков интересует отображение одной концептуальной системы в другую. Концептуальные каркасы фактуальных наук, по предположению, должны отображать (конечно, символически и частично) реальные вещи, а не возможные конструкты. Придерживаться аналогии в фактуальной науке — значит ходить вокруг да около. Мышление по аналогии характерно для протонауки (например, истории) или псевдонауки (например, психоанализа). Зрелая наука будет точной в той мере, в какой она объективна. Для нее характерна последовательно реалистическая эпистемология¹.

Буквальная и объективная интерпретация основного (первичного) символа s , встречающегося в физической

¹ M. Bunge, *Method, Model and Matter*, 1972, Chapter 10.

теории T , приписывает s физическому объекту p , будь то некоторая сущность (например, атом), ее свойство (например, атомный орбитальный момент количества движения) или его изменение (например, скачок в значении момента количества движения). Короче говоря, $p = Int(s)$. Буквальная и объективная интерпретация физической теории T в целом будет соответственно состоять в отображении $Int: S \rightarrow P$ множества S , основных символов теории T в множество P их физических партнеров. Если P находится в другой сфере, охватываемой теорией T' (то есть если $P \subset P'$, где P' есть множество физических объектов, с которыми соотносится теория T'), то теория T будет интерпретирована по аналогии с теорией T' . В частности, если T является квантовой теорией, а T' — классической и P включается в референт теории T' , то классическая интерпретация квантовой теории T будет метафорической. А если P имеет непустое пересечение с множеством психологических объектов, таких, как человеческие склонности и способности, скажем, к наблюдаемости, неточности и предсказуемости, то T будет психологической, а не строго физической теорией.

Все, что говорилось об интерпретации, справедливо и для объяснения. Если формализму теории приписывается буквальная и объективная интерпретация, то любое объяснение, задуманное с помощью этой теории, также будет буквальным. Мы не будем отрицать метафорического объяснения вообще. В период построения теории его следовало бы допустить *faute de mieux* (за неимением лучшего). Так, было бы нелепо отрицать термодинамические аналогии «потоков» тепла и электричества в начале формирования соответствующих теорий, но столь же нелепо рассматривать их сейчас как субстанциальные, а не как формальные. Теория информации также получала много полезного от формальной аналогии между информацией и негэнтропией. Но было бы опрометчивым связывать обратимость движения и изменение энтропии с изменением информации о системе, получаемой человеком, так как это лишало бы объективности статистическую механику и термодинамику. Иначе говоря, любая интерпретация множества S в статистической механике должна приписывать ему некоторое объективное физическое свойство, а не состояние человеческого знания. Точно так же, если квантовая механика и квантовая электро-

динамика рассматриваются как физические теории, то ψ следует объективно и буквально приписывать физическое значение.

Квантовотеоретическое объяснение, независимое от наблюдателей и измерительных инструментов, конечно, является менее интуитивным, чем классическое объяснение. Однако квантовые теории объясняют в совершенно определенном смысле термина «объяснение», а именно в смысле дедукции из общих предположений (в частности, законов) и частных предпосылок (например, данных). Но не только квантовая теория требует новых способов понимания. Такие дисциплины, как, например, термодинамика, электродинамика, механика сплошных сред, тоже имеют неинтуитивные аспекты, а в ряде случаев их выводы и вовсе противоречат интуиции. Бор пошел слишком далеко, утверждая, что с созданием квантовой теории приходится переосмысливать само понятие понимания. Он говорил, что «благодаря квантовой механике значение слова «понимание» изменилось, поскольку мы теперь должны иметь дело с пониманием законченного квантового феномена»¹. Я бы изложил это иначе. Мы достигли удовлетворительного объяснения многих (но не всех) квантовых феноменов, хотя мы не можем или не хотим понять их в традиционных терминах, в частности с помощью классических понятий, подобных понятиям волны и частицы, которые к квантовой механике не относятся. Но понимание — категория психологическая, а не эпистемологическая. И тем, кто разочарован в том, что квантовая механика дает мало «понимания», можно утешиться следующими доводами: (а) чем больше придерживаются эвристических образов, тем меньше понимают теорию; (б) не следует ожидать, что в квантовой механике должны существовать кинематика или теория движения лишь по той причине, что она носит неверное название *механики* (см. § 6).

В таком случае складывается следующая ситуация. Если мы хотим построить или изучить новые теории, то аналогия, вероятно, необходима в качестве моста между известным и неизвестным. Но если мы уже овладели новой теорией, то ее нужно критически исследовать с целью разобрать эвристические леса, реконструируя систему в

¹ В. Гейзенберг, личное сообщение, 1970.

ее буквальном виде. Для этого и применяется аксиоматизация. Когда эта реконструкция завершена, то есть когда мы выяснили, что именно представляет собой данная теория, а не то, на что она похожа или что нам напоминают ее референты, мы должны отказаться от какого бы то ни было метафорического объяснения в сфере применимости теории, так как это было бы всего лишь псевдообъяснением. Предполагать, что научное объяснение метафорично — значит путать научную теорию с библейскими притчами или же согласиться с инструментализмом, для которого «все знание, если оно устанавливается не как фактическая последовательность и сосуществование, может быть знанием только по аналогии»¹.

8. Модели

Как обстоит дело с моделями? Следует ли их также рассматривать как только эвристические вспомогательные средства, которые должны быть отброшены, после того как теория будет построена? Ответ зависит от смысла полиморфного слова «модель» — термина, который столь же широко используется, сколь и мало анализируется в современной философии физики. Существует два смысла, в соответствии с которыми модели являются действительными ингредиентами физических теорий, и два других, в соответствии с которыми они не должны быть таковыми.

Если «модель» означает *наглядное представление* (*visual representation*) или аналогию с ранее знакомыми вещами², становится ясным, что не каждая теория в этом смысле имеет модели. Так, теории поля, будь то классические или квантовые, едва ли наглядны. Если термин «модель» рассматривается в значении некоторого *механизма* либо в узко механическом, либо в широком смысле, включающем и немеханические механизмы, такие, как мезонно-полевой механизм ядерных сил, то некоторые теории содержат модели подобного вида, другие — нет. (Первые можно назвать механизмическими, или репре-

¹ H. Vaihinger, *Die Philosophie des Als Ob*, Leipzig, 1920.

² E. Hutten, *The Language of Modern Physics*, Allen and Unwin, London, 1956.

зентативными, теориями, тогда как последние могут именоваться феноменологическими теориями, или теориями черного ящика¹. Следовательно, неокельвинистская точка зрения, согласно которой любая научная теория содержит или предполагает модель в смысле наглядного представления или аналогии, является неадекватной. Соответственно представляются ошибочными и основанные на этой точке зрения взгляды, согласно которым как научная интерпретация, так и научное объяснение требуют наглядных представлений.

С другой стороны, в третьем смысле этого слова любая физическая теория есть модель, а именно модель лежащего в ее основе математического формализма. Кроме того, физическая теория дважды является моделью в смысле теории моделей. Во-первых, потому, что любой из ее основных знаков имеет свою конкретную интерпретацию в рамках математики, во-вторых, потому, что тот же знак может иметь и физическую интерпретацию — как это и происходит в случае со всеми первичными референционными понятиями. Так, в механике *m* вначале может быть интерпретировано как число, затем как масса тела, которому это число приписывается. Окончательная интерпретация символа представляет собой композицию математической и физической интерпретационных функций. Знаку приписывается число, которое в свою очередь интерпретируется как величина массы. *Mutatis mutandis* — это справедливо и для всякого символа теории. Предостережение: смысл понятия «модель», характерный для теории моделей, может быть использован только в связи с аксиоматизированными теориями. В противном случае модель любой неинтерпретированной фактуальной теории строится с помощью приписывания каждому из первичных понятий теории фактуальной интерпретации, и останется неизвестным, каковы же были первичные понятия теории до ее аксиоматизации. Но поскольку интерпретация фактуальна и референты интерпретированного формализма удовлетворяют ему только приблизительно (если удовлетворяют вообще), постольку понятие модели, характерное для

¹ A. d'Abro, *The Decline of Mechanism*, Van Nostrand, New York, 1939; M. Bunge, in M. Bunge (ed.), *The Critical Approach*, Free Press, Glencoe, Ill, 1964.

теории моделей по отношению к теориям фактуальной науки, представляет незначительный интерес¹.

И наконец, в четвертом смысле каждая конкретная физическая теория (но не каждая теория вообще) *содержит* модель или эскиз своего частного референта (см. гл. 3, § 6). Так как общие формулы теории неспецифичны, их недостаточно для решения конкретных проблем, таких, как нахождение траектории снаряда, гармоник волн, распространяющихся в волноводе, или энергетических уровней атома. Для того чтобы решить конкретные проблемы, надо сделать дополнительные специальные предположения и иметь данные, необходимые для решения этих проблем. Здесь имеется в виду число и природа элементов системы, предполагаемый вид их взаимодействия, вид уравнения связей и основного уравнения, начальные и граничные условия, то есть все, что имеется в вашем распоряжении. Эти дополнительные гипотезы и данные, которые присоединяются к основным аксиомам теории с целью их уточнения, и составляют *концептуальную модель* конкретной системы. В данном случае модель представляет собой некоторое множество *утверждений*, специфицирующих (грубо) природу референта теории, но более точно, чем общие (и поэтому крайне неопределенные) предположения.

Приведем несколько примеров концептуальных моделей в физике. (1) Модель газа как совокупности твердых шаров; (2) модель Изинга для фазовых переходов, основанная на предположении, что в цепочке атомов или молекул каждый из них взаимодействует только со своими близлежащими соседями; (3) классическая модель жидкости или даже вселенной в целом как непрерывной среды с заданной плотностью и распределением напряжений; (4) простейшая модель электрического тока как одномерного потока бесконечной плотности; (5) потенциальный барьер в качестве характеристики некоторой внешней силы и форма потенциала как модель внутренних сил притяжения в квантовой механике. Отметим прежде всего, что любая такая модель должна содержать некоторые из понятий данной теории, в противном случае модель не удалось бы с ней связать, однако ни одна из этих моделей не ограничена каким-либо конкретным мно-

¹ См.: M. Bunge, *Method, Model and Matter*, 1972.

жеством законов. Подобные модели могут встречаться в самых различных и даже взаимно несовместимых теориях данного класса (классические и квантовые, нерелятивистские и релятивистские и т. д.). Одним словом, концептуальная модель не является неотъемлемой частью фундамента общей теории. Полное овладение теорией означает, что она интерпретирована настолько полно, насколько это возможно; если ее ориентировать на модель, она становится конкретной теорией, как, например, нерелятивистская квантовая теория атома гелия. То есть модель не вносит никакого вклада, кроме эвристического, в обеспечение общей теории фактуальным значением (например, физическим). В-третьих, концептуальная модель не есть нечто бесполезное или, напротив, несомненно истинное. Она является приближенным изображением реальной вещи и может в дальнейшем подвергаться уточнению.

Вопрос о том, наглядна ли данная модель как представление физической системы или нет, не имеет отношения к семантике той теории, к которой она в конечном счете относится. Наглядность — это благоприятная психологическая случайность, а не научная необходимость. Немногие из моделей, которые испытывались на наглядность, оказались таковыми. В одних случаях модель может быть и обычно бывает образована из невоспринимаемых органами чувств элементов, таких, как непротяженные частицы и незримые поля. Конечно, модель может быть представлена графически, но то же самое можно сказать и о любой идее, коль скоро можно использовать символические или условные диаграммы. Но всякие диаграммы без связи с теорией лишены какого-либо смысла. С другой стороны, теории не нуждаются в диаграммах, помимо чисто психологических целей. Поэтому следует проводить различие между теоретическими моделями и наглядными аналогиями¹.

9. Заключение

В фактуальной науке аналогия и вывод по аналогии охотно принимаются в качестве средств построения теории. К тому же они служат показателями роста, симп-

¹ Более подробно о моделях см.: M. Bunge, *Method, Model and Matter*, 1972, Part II.

томами того, что теория все еще находится в стадии становления, а не зрелости. Зрелая классическая электродинамика не нуждается в каких-либо упругих трубках силовых линий; поле — немеханическая субстанция, и этого достаточно для всех целей; что касается механических аналогий, то это всего лишь декоративные добавки. Подобным же образом зрелая квантовая электродинамика не нуждается в каких-либо виртуальных фотонах, которые излучаются и сразу же поглощаются электронами: она будет рассматривать фейнмановские диаграммы лишь как мнемонические правила для вычисления¹.

Зрелая фактуальная теория содержит только точные и буквальные интерпретации и объяснения, она избегает интерпретаций типа «как если бы». Конечно, научное объяснение, если оно глубокое, есть нечто большее, чем простая дедукция из законов и фактических данных. Оно основывается (subsumtion) на более общих утверждениях, и среди них будут фигурировать и некоторые гипотезы относительно возможных внутренних механизмов, то есть предположения, выходящие за пределы внешних отношений, или отношений входа и выхода. Однако такие объяснения по глубине, или интерпретативной объяснимости², чужды метафорическим объяснениям, которые слишком поверхностны, ограничиваясь внешним сходством, и поэтому терпят неудачу, когда дело касается реальной вещи. Соответственно и метафорическая точка зрения на научное объяснение, рекомендованная недавно вместо дедуктивного описания³, также совершенно неадекватна.

Исследователям оснований науки, а также ученым, занимающимся философией науки, надлежит: (i) признать, что замечательные возможности утверждений и выводов по аналогии могут способствовать построению теории, (ii) анализировать сами теории, а не их описания в метафорических терминах, (iii) критически

¹ M. Bunge, *British Journal for the Philosophy of Science*, 1955, vol. 6, № 1, p. 141.

² См: M. Bunge, *Scientific Research*, 1967; M. Bunge, in: I. Lakatos and A. Musgrave (eds.), *Problems in the Philosophy of Science*, North-Holland, Amsterdam, 1968.

³ M. Hesse, *Models and Analogies in Science*, Notre Dame University Press, Notre Dame, Ind., 1966.

относиться к использованию в науке аналогий и аргументов по аналогии, (iv) проводить различие между конструктивными, конститутивными и чисто эвристическими предположениями (как это делал Кант два столетия тому назад) и (v) помочь науке освободиться от строительных лесов, ибо сохранение их за пределами этапа зарождения теории может быть препятствием как для ее дальнейшего роста, так и выявлению архитектуры самого здания теории, что на самом деле и случилось с некоторыми классическими аналогиями, которые, исчерпав свою эвристическую силу, до сих пор еще присутствуют в квантовых теориях. В настоящее время лучшим способом очищения от эвристических строительных лесов и достижения понимания реальных предположений теории (как явных, так и скрытых) служит ее аксиоматизация. Поэтому мы сейчас и перейдем к вопросам, связанным с физической аксиоматикой.

**Характер
аксиоматики****1. Три подхода к физической теории**

Научная теория может быть изложена тремя способами: историческим, эвристическим или аксиоматическим. Историческое изложение, если оно верное и глубокое, будет исходить из рассмотрения основной проблемной ситуации, различных попыток ее разрешения, включая и ошибочные, из рассмотрения правильного пути, решения проблемы, а также будет учитывать фактическое или возможное влияние этого решения на будущее развитие науки. Нужно ли говорить, что, хотя история физики как науки и развивается достаточно быстро, все же еще лишь немногие работы отвечают всем отмеченным выше требованиям. С другой стороны, эвристический подход выявляет наиболее полезные (хотя и не обязательно наиболее фундаментальные) формулы теории, ибо спешит вывести из них следствия и применить их. Этот подход характерен для подавляющего большинства публикаций и курсов лекций по физике. В то время как и исторический и эвристический подходы проливают свет на развитие науки, первый все-таки непрактичен: эвристический подход более предпочтителен, когда требуется краткий рецепт или указание относительно способа действий.

Но и исторический, и эвристический подходы неудачны для изложения теории в целом. Они безмолвствуют по поводу большинства предположений этой теории, не могут выявить всех ее основных предпосылок, оставляя в значительной мере неясной логическую структуру теории; что же касается их физического смысла, то здесь они оказываются двусмысленными, если не полностью несостоятельными. Любой добросовестный,

преподаватель, как и прилежный студент, не могут удовлетвориться этими подходами, и будут пытаться дополнить их недостающими предпосылками, внести какую-то строгость в то или иное доказательство, уточнить физическую интерпретацию некоторых используемых символов. Отсюда обескураживающее разнообразие формулировок и соответствующее обилие учебников и обзорных статей. Многие из подобных попыток прояснения и реконструкции теорий могут быть вполне успешными в тех или иных конкретных случаях, но успешными они будут лишь отчасти, ибо они не имеют необходимой систематичности, не реконструируют теорию в целом, а систематичность и есть сущность любой теории. В самом деле, с логической точки зрения всякая теория по определению является системой, а более точно — гипотетико-дедуктивной системой. Другими словами, теория отправляется от определенной совокупности гипотез и разворачивается дедуктивным способом (см. гл. 3). Однако в систему не следует вносить не свойственные ей изменения, если, конечно, при этом мы не руководствуемся целью преобразовать ее в какую-либо другую систему.

Если мы ищем более точную формулировку и, следовательно, более полное и глубокое понимание теории, неважно в каких целях: педагогических, рационализаторских или просто для личного интеллектуального комфорта, то аксиоматический подход в таком случае будет наиболее предпочтителен. В самом деле, только он может дать глобальную оценку теории и сосредоточить внимание на ее существенных ингредиентах, не отвлекаясь при этом на прикладные аспекты, так же как и на особенности ее исторического и психологического развития. Аксиоматический подход кратчайшим путем ведет к сути любой теории. Более того, он не перегружен деталями, оставляя их для прикладных целей.

Но все эти три подхода к изложению теории не конфликтуют между собой. Каждый освещает различные грани сложного предмета и каждый имеет свою собственную задачу. Первый подход интересуется биографией теории, второй — ее возможности и действительность, а третий — то, что можно назвать характером теории, то есть ее основания, а также структура и содержание. Поэтому было бы ошибочным утверждать, что какой-то один из этих трех подходов чем-то лучше любого другого. Они

взаимно дополнительные, и, следовательно, любое гармоничное научное образование, даже если оно и ориентируется на эвристический или интуитивный подходы, должно давать также известное представление относительно других сторон вопроса, а именно о случайностях исторического развития и об упорядоченности аксиоматики.

Я не буду защищать эвристику, которая повсеместно используется. Не буду я отстаивать и исторический подход, поскольку любой квалифицированный специалист обычно интересуется историей своего предмета. Вместо этого я буду доказывать необходимость весьма непопулярного аксиоматического подхода, который обычно понимается неверно и едва ли практикуется где-либо, помимо математики¹.

2. Уроки Евклида, Гильберта и Гёделя

До Евклида (ок. 300 г. до н. э.) существовали некоторые учения и точки зрения, но каких-либо теорий в современном смысле этого слова, насколько свидетельствуют сохранившиеся документы, не было, за исключением, быть может, теории пропорций Евдокса.

Имели место более или менее свободно связанные утверждения, а не гипотетико-дедуктивные системы, то есть системы, основанные на эксплицитно сформулированных начальных предположениях (именуемых также аксиомами и постулатами). Правда, понятие доказательства уже было изобретено двумя столетиями ранее (вероятно, в Пифагорейской школе), и необходимость делать некоторые предположения для того, чтобы что-либо доказать, была осознана наряду с понятием логического следования. Но доказательства были столь же изолированными, как и предпосылки, и ни одно из них не было систематическим. Это было счастливое царствование решателей проблем, а не строителей теорий. Проблемы

¹ См. на этот счет: J. H. Woodger, *The Axiomatic Method in Biology*, Cambridge University Press, 1937; R. Carnap, *Introduction to Symbolic Logic and its Applications*, New York, Dover Publications, Inc., 1958; L. Henkin, P. Suppes and A. Tarski (eds.), 1959, *The Axiomatic Method*, North-Holland, Amsterdam, 1959; M. Bunge, *Reviews of Modern Physics*, 1967, vol. 39, p. 463; P. Suppes, *Studies in the Methodology and Foundations of Science*, D. Reidel, Dordrecht, 1969.

атаковались одна за одной и решались с помощью любых пришедших в голову предпосылок, лишь бы они выглядели более или менее подходящими, ничуть не заботясь при этом ни о логическом круге или о логической непротиворечивости, не говоря уже об условии гомогенности (принадлежности к множеству соотносимых элементов).

Система геометрии, изложенная Евклидом в его *Началах*, была уже не просто совокупностью вычислительных рецептов (подобно большинству шумерских и египетских математических трудов). Она была чем-то большим, нежели просто огромным собранием разделов математического знания, являясь, вероятно, первой во всех отношениях законченной теорией, изобретенной человечеством. Принижать значение работы Евклида, утверждая, что он «только» перекодировал математические знания своего времени, — значит обнаруживать плохое понимание природы и значения теорий. Более того, Евклид сформулировал свою геометрическую теорию в наиболее завершеном и убедительном виде, который был возможен в то время, а именно в аксиоматической форме, введенной им самим. Для методологии построения теории урок Евклида состоит в следующем. *Если вы заботитесь о систематичности и строгости, попытайтесь применить аксиоматический метод.*

Хотя аксиоматикой всегда восхищались как парадигмой формулирования теорий — и до такой степени, что Спиноза, Ньютон и многие другие пытались сформулировать свои основные теории *как можно более геометрически*, то есть аксиоматически, — все же аксиоматика была в основном не у дел вплоть до начала нашего столетия. Она была возрождена в свое время двумя группами математиков: теми, кто начал осознавать формальное подобие большого числа различных теорий (так появились концепции абстрактной теории и ее моделей), и теми, кого беспокоили ловушки, скрытые в интуитивных или эвристических формулировках некоторых теорий — сначала, математических исчислений, а затем теории множеств. Аксиоматика вновь была вызвана к жизни как инструмент унификации, прояснения и очищения.

Двумя наиболее влиятельными системами начального периода современной аксиоматики явились, конечно, аксиоматическая переформулировка Д. Пеано (1889) по-

тулатов Дедекинда для системы натуральных чисел и *Основания Геометрии* Д. Гильберта (1899). Последний не только реабилитировал метод Евклида, но и реконструировал его с точки зрения более строгого контроля над предпосылками и выводимыми понятиями, и, кроме всего прочего, обошелся без рисунков и чертежей, исключение которых заставило его сформулировать все предпосылки в явной символической форме. Метатеоретический урок Гильберта, совершенно независимо от его основного математического значения, заключается в следующем. *Не существует какой-либо окончательной системы аксиом. Всегда в принципе возможны более глубокие (более строгие) уровни аксиоматизации*¹ (Гильберт, 1918).

Теперь большинство математиков рассматривают аксиоматику как идеальную форму для математических теорий, в частности в алгебре. Ее роль возрастает и в других областях математики. Эта форма идеальная, но не совершенная, и дело не только в том, что (как это прекрасно понимал уже Гильберт) каждый новый этап дает материал для построения все более совершенной аксиоматической системы в данной области знания, но и в том, что любая содержательная теория просто не может быть совершенной, даже если она и представлена аксиоматически. В самом деле, Гёдель (1931) доказал, что всякая непротиворечивая система аксиом, охватывающая арифметику натуральных чисел, не может содержать все формулы той области, которую намереваются систематизировать. Любая такая система, если она непротиворечива, необходимо является неполной. (Если же система непротиворечива и полна, то ее нельзя полностью аксиоматизировать.) В самом деле, всегда можно построить более мощную систему аксиом, которая будет охватывать большее число утверждений, чем предшествующая теория. Но и в этом случае она будет неполной: совершенство, как видим, не может быть приравнено к достижимому идеалу. Урок Гёделя в отношении построения теорий в двух словах можно выразить так: *Не может быть никакой совершенной системы аксиом. Все, к чему мы можем и должны стремиться, — это строить все более лучшие системы аксиом.*

¹ D. Hilbert, *Mathematischen Annalen*, 1918, vol. 78, S. 405.

Итак, любая данная конкретная система аксиом ограничена, но в то же время не существует какого-либо априорного ограничения последовательности прогрессивно улучшающихся систем аксиом. Аксиоматика является несовершенным, но лучшим из имеющихся в нашем распоряжении способом формулирования теории, поэтому отказ от аксиоматики по причине ее ограниченности аналогичен призыву отказаться от продолжения человеческого рода из-за несовершенства его представителей. Мы уже не говорим о том, что несовершенство есть необходимое условие прогресса.

3. Современное состояние техники аксиоматизации в физике

Гильберт был не только одним из величайших математиков и логиков в истории человечества, не только выдающимся физиком-теоретиком, но и пионером использования аксиоматики в науке вообще. В 1900 году на международном конгрессе математиков в Париже Гильберт огласил сформулированный им список двадцати трех фундаментальных нерешенных математических проблем. С тех пор большинство из них были решены, причем некоторые совсем недавно. Но знаменитая шестая проблема Гильберта, проблема аксиоматизации теоретической физики, все еще в значительной мере остается открытой. Сам Гильберт приложил некоторые усилия для выполнения этой задачи, аксиоматизировав элементарную, или феноменологическую, теорию излучения¹, и свою собственную единую полевую теорию гравитации и электромагнетизма². К сожалению, он неверно выбрал предметы своих устремлений. Первая теория претерпела радикальные изменения после квантового переворота, совершенного Планком (настоящая квантовая революция пришла намного позднее), а вторая была преждевременной. Таким образом, экскурсии Гильберта в физическую аксиоматику остались незамеченными. За небольшими исключениями, физические

¹ D. Hilbert, *Physikalische Zeitschrift*, 1912, vol. 13, S. 1056; D. Hilbert, *Physikalische Zeitschrift*, 1913, vol. 14, S. 592; D. Hilbert, *Physikalische Zeitschrift*, 1914, vol. 15, S. 878.

² D. Hilbert, *Mathematische Annalen*, 1924, vol. 92, S. 1.

теории продолжали формулироваться в достаточно случайном, нестрогом, а иногда и просто запутанном виде.

Правда, были и исключения. Наиболее известной, по крайней мере наиболее цитируемой, является несколько неполная аксиоматическая формулировка термостатики, принадлежащая Каратеодори (1909)¹, но ею едва ли можно воспользоваться из-за ее полностью неинтуитивного характера. Помимо этого, Каратеодори совершает обычную ошибку, непосредственно связывая физическое значение аксиоматических утверждений с экспериментом. Это ошибка уже потому, что *a)* обычно с экспериментом непосредственно связаны именно теоремы, а не постулаты; *b)* планирование и интерпретация любого эксперимента включают не только связанную с ними теорию, но и некоторое количество дополнительных (вспомогательных) теорий, относящихся к различным аспектам экспериментальной установки (см. гл. 10); *c)* прежде чем применять все эти теории, необходимо уяснить их физический смысл и придать им более или менее точное содержание; *d)* цель эксперимента не в том, чтобы раскрыть значение чего-либо, его цель — предоставить данные, пригодные для проверки теории, ее применения и постановки новых вопросов, и *e)* проблема значения начинается с первичных строительных блоков (неопределяемых понятий) теории. Они должны с самого начала получить определенное содержание; иначе каким образом мы будем говорить о содержании сложных конструктов. Короче говоря, первое эссе Каратеодори по физической аксиоматике было связано с несостоятельной философией операционализма.

Последующими хорошо известными работами по физической аксиоматике были предложенные Каратеодори² (1924) и Рейхенбахом³ (1924) аксиоматизации специальной теории относительности. Они исходили из аналогичных и в равной мере неудачных предпосылок. В частности, они не приняли во внимание теорию электромагнитного поля Максвелла, без которой специальная теория относительности вряд ли имеет какой-либо смысл,

¹ С. Carathéodory, *Mathematische Annalen*, 1909, vol. 67, S. 355.

² С. Carathéodory, *Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Academie der Wissenschaften zu Berlin, Phys-Mat. Kl.* 12.

³ Н. Reichenbach, *Axiomatik der relativistischen Raum-Zeit Lehre*, Fr. Vieweg und Sohn, Braunschweig, 1924.

поскольку она описывает события, связуемые электромагнитными возмущениями. Обе эти формулировки рассматривали в качестве объекта теории материальные точки, а не обобщенные физические системы и системы отсчета в электромагнитном поле: обе предполагали, что в любой материальной точке можно расположить наблюдателя, могущего по своему усмотрению посылать и получать световые сигналы, причем без всякой отдачи, и ни из одной из этих систем аксиом формулы преобразований Лоренца не вытекали. Однако среди философов псевдоаксиоматика Рейхенбаха все еще котируется в качестве совершенного или почти совершенного образца. Известна также попытка аксиоматизации квантовой механики, предпринятая фон Нейманом. В своей сделавшей эпоху книге¹, которая в высшей степени обогатила математический каркас этой теории, фон Нейман ошибочно предположил, что он заложил аксиоматические основания квантовой механики. Фактически же в его изложении все характеристики современной аксиоматики полностью отсутствуют. А именно: в ней не раскрываются предпосылки, не идентифицируются основные понятия теории, не перечисляются начальные допущения (аксиомы); не удалось также предложить непротиворечивую физическую интерпретацию формализма. В целом аксиоматика фон Неймана противоречива и философски наивна (см. гл. 4 и 5). Но по каким-то странным причинам она считается примером физической аксиоматики. И это не первый случай. Формулирование Махом² классической механики материальной точки также часто принимают за ее аксиоматизацию, хотя Мах с его подозрительным отношением к любой теории, несомненно, был далек от какой-либо аксиоматики, ибо для него имел значение только факт³.

Между тем изучение аксиоматических систем в последние годы продвинулось далеко вперед. В период между двумя мировыми войнами родились и сделали важный вклад в теорию теорий новые дисциплины — математика и теория моделей, которые сейчас развиваются

¹ И. фон Нейман, Математические основы квантовой механики, М., «Наука», 1964.

² Э. Мах, Механика, Историко-критический очерк ее развития, СПб, 1909.

³ М. Вунге, American Journal of Physics, 1966, vol. 34, p. 585.

очень быстрыми темпами. Первой и достаточно успешной работой по физической аксиоматике, послужившей основой для ряда дальнейших работ в этом направлении, была, вероятно, работа Мак Кинси и др. по классической механике материальной точки¹. В ней впервые удалось оптимально связать и охарактеризовать первичные понятия теории, впервые удалось сформулировать большинство необходимых аксиом, которые были проверены на непротиворечивость и независимость (последнее было сделано как на уровне понятий, так и на уровне утверждений). Следующей была аксиоматизация Ноллем гораздо более содержательной и реалистичной теории — а именно классической механики сплошных сред². В этой работе делался акцент на новизне математического аппарата и его строгости; помимо этого, она представляет интерес и с точки зрения функционального анализа. Третий важный шаг был сделан Эделеном, который аксиоматизировал целый класс классических теорий поля³. Это, по существу, первые работы в названных областях; они, между прочим, показали, каким образом аксиоматика может помочь оформить и обобщить классическую физику и в результате привести к ее более глубокому пониманию. Довольно странно, однако, что мы не находим даже упоминания об этих работах в учебниках физики. До сих пор в преподавании физики предпочитают использовать устаревшую математику и игнорировать логику, а иногда и целые разделы собственно физики, такие, например, как механика сплошных сред.

Упомянутые до сих пор работы обязаны своим появлением или математикам или логикам. Вполне естественно поэтому, что о физическом содержании они особенно не заботились, за исключением, быть может, работ Гильберта. Но если этому вопросу и уделяли некоторое внимание, то в конечном итоге все сводилось к некритическому импорту доктрины значения у физиков-операционалистов, согласно которой осмысление предполагает проверяемость, а не наоборот.

¹ J. C. C. McKinsey, A. C. Sugar and P. Suppes, *Journal Rational Mechanics Analitics*, 1953, vol. 2, p. 253.

² W. Noll, in L. Henkin, P. Suppes and A. Tarski (eds.) *The Axiomatic Method*, Amsterdam, 1959.

³ D. G. B. Edelen, *The Structure of Field Space*, University of California Press, Berkeley and Los Angeles, 1962.

Современный вклад физиков в физическую аксиоматику представлен в первую очередь работами Вайтмана и его школы по так называемой аксиоматической квантовой теории поля. Эти исследования, частично стимулированные хорошо известными противоречиями (например, расходимостями) обычных формулировок квантовой электродинамики¹, не получили, однако, должного признания и понимания. Некоторым не понравилось стремление к математической строгости, характерное для этих работ; возражения других основывались на том, что аксиоматическая квантовая теория поля не предсказывает новых «эффектов»; третьи упрекали ее за постулирование существования ненаблюдаемой сущности, связанной с понятием поля, и, наконец, некоторые думают, что «аксиоматика» означает априоризм, независимость от опыта и, следовательно, непреклонность теорий перед ним. Лишь немногие приняли аксиоматику квантовой теории поля за то, чем она и являлась, — за попытку «проанализировать общие понятия, лежащие в основе всех релятивистских квантовых теорий поля»², без каких-либо претензий на завершенность и окончательность.

Этот краткий и неполный обзор физических аксиоматик все же, видимо, достаточен, чтобы увидеть, что состояние дел в этой области находится в печальном контрасте с расцветом аксиоматики в математических науках. Опыт математики подсказывает нам, что нужно способствовать развитию аксиоматического подхода в физике хотя бы для того, чтобы увидеть, что из этого получится. Оставшуюся часть этой главы мы посвятим размышлениям по поводу реализации проекта аксиоматической переориентации теоретической физики.

4. Общая характеристика аксиоматики

Различие между интуитивным, или эвристическим, представлением некоторой теории и ее аксиоматической формулировкой аналогично различию между самим процессом исследования и окончательным его результатом.

¹ A. S. Wightman, *Physical Review*, 1956, vol. 101, p. 860.

² R. Jost, *The General Theory of Quantized Fields*; American Mathematical Society, Providence, R. J., 1965.

Это различие заключается в системности и порядке следования, а потому также и в ясности. Аксиоматике свойственны как ясность, так и систематичность, однако во многих случаях аксиоматизация может оказаться делом весьма трудным. В самом деле, чтобы аксиоматизировать содержание какой-либо отрасли знания, необходимо изложить его основные идеи некоторым упорядоченным образом.

Далее, термин «идея» охватывает и понятия и утверждения. Так, понятие напряженности электрического поля представляет собой элемент некоторого утверждения, например: «напряженность поля с расстоянием уменьшается». Следовательно, аксиоматизация теории означает составление упорядоченного списка как основных понятий, так и основных утверждений теории, и притом таким образом, чтобы все остальные ее понятия и утверждения были выводимы из ее основных идей.

Главной, или основной, идеей является такая, которая служит для построения последующих идей с помощью чисто логических или математических средств. Это либо понятие, используемое (обычно вместе с другими понятиями) для определения новых понятий, либо утверждение, используемое (обычно в сочетании с другими утверждениями) для вывода дальнейших утверждений. Основные понятия теории называются ее *первичными*, или *неопределяемыми*, понятиями, тогда как основные утверждения именуются *аксиомами*, или *постулатами*, этой теории. (В современной аксиоматике между «аксиомами» и «постулатами» различия не проводится.) Тем самым, например, четыре понятия напряженности поля и индукции (или эквивалентно два соответствующих тензора поля) являются основными, или неопределяемыми, в принадлежащей Максвеллу версии классического электромагнетизма, в то время как уравнения Максвелла входят в аксиомы теории. Это означает, что в данной конкретной формулировке теории, уравнения Максвелла оказались среди основных блоков, из которых строится теория в целом. В то же время несомненно важное понятие плотности энергии не будет логически исходным, поскольку его можно определить с помощью вышеуказанных первичных понятий. Еще в большей степени производно понятие полной энергии, поскольку оно опреде-

ляется уже через плотность энергии. В этом смысле и закон сохранения энергии поля, хотя и очень важен, но все же не будет исходным, так как представляет собой теорему, вытекающую из аксиом.

Однако высокий статус первичного понятия и аксиомы не абсолютен, а зависит от контекста. Так, понятие числа первично в элементарной арифметике, как и понятие силы первично в ньютоновой механике материальной точки. Но в альтернативных теориях число определяется с помощью множества, а понятие силы часто оказывается определяемым с помощью понятия потенциала. Соответственно понижаются в звании и некоторые утверждения, которые переводятся из ранга аксиом в ранг теорем. Подобная контекстуальность, или относительность статуса основных идей, несомненно, желательна, поскольку открывает новые возможности для поиска все более плодотворных и глубоких идей, все более содержательных понятий и постулатов, из которых в свою очередь могут быть выведены понятия, бывшие первичными ранее. Поэтому предложение «Понятие (или аксиома) A является основным» следует читать как: «Понятие (или аксиома) A является основным в теории T ».

Можно было бы предположить, что поскольку все понятия и утверждения теории так или иначе необходимы, то все они в равной степени важны, и ученый в своей работе должен исходить из демократии идей вместо какой-либо их стратификации на идеи первого и идеи второго класса. С точки зрения семантики, то есть в отношении проблемы значения или истины, это верно. Так, понятие потока поля не менее важно, чем понятие напряженности поля, несмотря на то что первое выводится из второго. Более того, в экспериментальной физике потоки более важны, чем интенсивности. Подобным же образом можно считать одинаково важными уравнения поля и вариационные принципы. Известно, что уравнение поля можно вывести из соответствующих вариационных принципов, которые могут рассматриваться с точки зрения математики или эвристики как более удобные. Но здесь речь идет о другом. Важна идея или нет, если она является производной (определяемым понятием или выводимым утверждением), то она логически вторична. Различие между основным и выводимым чисто логическое. Вообще говоря, это различие, несмотря

на его относительность к контексту, весьма ценно, ибо оно заставляет нас искать центральные идеи, выявлять в них логически наиболее строгие и помогает избежать логического круга. Поэтому всякий, кто знаком с этим различием, не будет тратить время на попытки логически определить каждое понятие (дефиниционизм) или доказать каждое утверждение (демонстрационизм). На этом мы остановимся еще в гл. 8.

Теперь вполне уместно дать более точную характеристику аксиоматики. Аксиоматизировать теорию — значит изложить множество ее первоначальных предположений таким образом, чтобы они: (а) обеспечивали достаточную характеристику всех основных понятий данной теории и (б) давали в итоге все стандартные утверждения (формулы) данной теории. Но прежде чем записать любое такое предположение, нам необходим язык, чтобы выразить его. Поэтому начинать нужно с рассмотрения логических и математических предпосылок физической теории.

5. Формальные предпосылки

Существует единственная теория, которая начинается на голом месте, — математическая логика (в действительности она представляет собой некоторое множество теорий). В самом деле, истинами логики или тавтологиями, такими, как $A \Rightarrow (B \Rightarrow A)$, являются те, которые могут быть доказаны, не прибегая к предположениям, отличным от правил логики. Все остальные теории предполагают помимо логики многое сверх того. Говоря точнее, любая математическая или научная теория в качестве логического минимума берет так называемое обычное исчисление предикатов с равенством. Этого необходимо и достаточно для того, чтобы анализировать понятия, формулы и умозаключения, встречающиеся в математике и естественных науках, или, скорее, чтобы анализировать их форму. В самом деле, любое высказывание в математике или естественных науках, коль скоро рассматривается его форма, является формулой этого исчисления, и каждое правильное рассуждение представляет собой пример правила вывода, фиксируемого той же теорией. Было бы неверным полагать, что реальный научный вывод специально нуждается в логическом исчислении,

которому он обязан строго следовать. Логика не предполагает построения чего-либо вне себя, а лишь контролирует правомерность того, что строится с помощью понятий. Не нужно так же думать, что математическое или научное исследования избегают рассуждений по аналогии и индуктивных аргументов, которые могут быть плодотворными, хотя и несостоятельными с логической точки зрения. Нельзя ожидать от какой-либо теории подтверждения недедуктивных умозаключений, хотя вывод из них может быть и верным.

Помимо обычного исчисления предикатов, существует много других логических теорий, таких, например, как логика моделей и многозначная логика. Однако логикой, на которой построено здание почти всей математики и всей физики, является именно обычное исчисление предикатов. (Исключение составляет интуиционистская математика. Но она охватывает только небольшую часть математики и поэтому не представляет интереса для физики.) Эту хорошо известную вещь необходимо иметь в виду, когда приходится сталкиваться с утверждением, что квантовая теория использует свою собственную логику, в которой нарушается дистрибутивный закон исчисления высказываний. Если бы это было верно, то квантовая теория имела бы совершенно другой математической формализм и ее едва ли было бы возможно объединить с классической физикой, как мы фактически и поступаем всякий раз, когда не удается проквантовать внешнее поле или когда мы сталкиваемся с каким-либо экспериментальным результатом, например физической константой, полученной путем измерений, выполненных и интерпретированных с помощью классической физики. Другими словами, даже квантовая революция не изменила нашу логику¹.

Во всяком случае, обычную логику можно рассматривать как самую первую компоненту формальных предпосылок любой физической теории. Вторую и последнюю компоненту составляет совокупность математических теорий, которая фактически используется в данной физи-

¹ M. Bunge, *Foundation of Physics*, New York, 1967; K. R. Popper, *Nature*, 1968, vol. 219, p. 682; A. Fine, *Philosophy of Science*, 1968, vol. 35, p. 101.

ческой теории. В свою очередь математическим базисом, или предпосылкой, всех математических теорий, до сих пор применяемых в физике, будет теория множеств. (Исключениями являются так называемые элементарные теории, такие, как, например, элементарная теория групп.) В самом деле, почти каждое математическое понятие можно определить, хотя и окольным путем, с помощью основных понятий множества и принадлежности к нему. Однако хорошо это или плохо, но здесь так же, как и в случае логики, имеется несколько неэквивалентных теорий множеств. Какую из них следует выбрать для построения физических теорий? Конечно, большинство физиков не сталкиваются с подобной проблемой *embarras de choix* (чрезмерного изобилия); эта альтернатива характерна для тех, кто работает в области оснований физики. Разумеется, решение здесь не сводится к утверждению, что надо принимать именно ту версию теории множеств, которая математически наиболее удовлетворительна (предполагается, что таковая имеется). Специалист в области оснований физики, помимо всего, заинтересован в такой теории множеств, которая дала бы возможность наиболее естественно прояснить значение физических понятий. Например, если он имеет дело с некоторыми характеристиками системы из нескольких компонент, такой, как луч света, распространяющийся в прозрачной среде, он, вероятно, должен рассматривать эту систему как упорядоченную пару (если, конечно, порядок имеет значение), так что рассматриваемая характеристика будет формализована как некоторая функция от топологического произведения двух множеств (поэтому, например, показатель преломления будет объединенным свойством света и оптической среды и может рассматриваться как действительная функция на множестве пар: луч света и точка в оптической среде). Но в этом случае, поскольку составная система представляет собой то же, что и каждая из ее компонент, специалист в области оснований науки может не удовлетвориться стандартным построением упорядоченной n -ки как множества множеств. Он склонится в пользу интерпретации упорядоченной n -ки в качестве полноценной индивидуальности. Поэтому из всех конкурирующих аксиоматик теорий множеств он, вероятно, предпочтет версию Бурбаки.

Итак, физические аксиоматики предполагают как логику, так и математику или, точнее, те разделы логики и математики, которые используются в физике. Этот формальный аппарат необходим, но недостаточен для систематизирующей реконструкции физических теорий, так как он ничего не говорит о физическом значении. К предпосылкам физической теории следует добавить еще и другие компоненты.

6. Философские предпосылки

Научное исследование включает определенные идеи, которые не освещаются ни в формальной науке (логике и математике), ни в какой-либо из специальных эмпирических наук. В частности, аксиоматическая реконструкция научной теории предполагает определенное число понятий и гипотез, которые, будучи далеко не чисто формальными или синтаксическими, все же являются намного более общими и важными, чтобы быть частным свойством любой конкретной науки. Это определенные философские идеи, такие, как идеи значения и истины, а также некоторые протофизические идеи — как, например, идеи системы и времени. Мы начнем с первых, оставив протофизику для следующего параграфа.

Рассмотрим следующие утверждения:

S1 Значение $x(\pi, k, t)$ действительной функции координат x представляет положение частицы π в (или относительно) системе координат k в момент t .

S2 Для любой частицы π существует семерка $\mu = \langle M, X, P \rangle$, именуемая материальной точкой, где M обозначает массу, X — положение, P — импульс π , так что $\mu \triangleq \pi$ (читается « μ моделирует π »).

S3 Модель материальной точки *приблизительно истинна* для классических частиц, но *почти ложна* по отношению к квантовомеханическим системам.

Ни одно из выделенных курсивом слов не принадлежит ни логике, ни математике или фактуальной науке, все они суть *семантические термины*. И все эти три утверждения будут *семантическими утверждениями*, так как они касаются значения определенных символов или истинности определенных идей. Семантика достаточно старая ветвь философии, однако наиболее фундамен-

гальные сдвиги в этой области произошли в первой половине нашего столетия, когда ею занялись такие логики и математики, как Б. Рассел, а затем Р. Карнап, А. Тарский и их последователи.

Приведенное выше утверждение $S1$ имеет два аспекта. С одной стороны, оно функционирует как правило обозначения, или наименования, не указывая на физический дубликат символа. С другой стороны, $S1$ идет дальше, чем простые лингвистические конвенции, так как выражает идею, что положение частицы полностью описывается или представляется векторной функцией на множестве, образованном топологическим произведением упорядоченных троек: $P \times K \times T$: частица — система координат — момент времени. Это допущение в принципе могло бы быть ошибочным. Оно несовместимо, например, с предположением о существовании абсолютного пространства. Помимо этого, данное предположение не имеет смысла с точки зрения операционализма, где нужно, чтобы K символизировало множество наблюдателей, а не множество физических систем отсчета и вместо понятия положения фигурировало бы понятие измеримой величины положения. Наконец, $S1$ не имеет смысла в квантовой механике, за исключением случая, когда оно касается значения среднего положения системы. В общем, хотя $S1$ и есть семантическое предположение, оно не полностью конвенционально. Это скорее гипотеза, а не правило. Во всяком случае, это не математическое и не физическое, а семантическое предположение. В параграфах 9 и 10 мы покажем, что именно в качестве своей основы система физических аксиом не может не содержать подобных семантических предположений.

Второе семантическое предположение $S2$ представляет собой конъюнкцию дефиниции (дефиниции понятия материальной точки), трех правил обозначения (по одному на каждую координату рассмотренной упорядоченной семерки) и одного предположения, а именно гипотезы о том, что материальная точка представляет частицу, а не поле, акт измерения или единицу информации.

Наконец, третье утверждение $S3$ дает итоговую характеристику модели материальной точки в терминах степени ее истинности. В отличие от $S1$ и $S2$, это утверждение не есть некоторое предположение, а результат

критического рассмотрения механики материальной точки с учетом ее способности правильно отображать превратности в поведении физических частиц. Но изучение утверждений типа S3 касается не только физики (или также методологии и метатеории физики), но и семантики, так как эти утверждения включают семантическое понятие частичной фактуальной истины¹.

Рассмотрим теперь несколько иные утверждения:

M1 Имеются *физические объекты*, то есть объекты, существование и свойства которых не зависят от того, воспринимаются, мыслятся, измеряются ли они кем-либо или нет.

M2 Каждый физический объект соответствует некоторому множеству *физических законов*, то есть устойчивых и объективных структур (patterns).

M3 Можно *познать*, хотя и предположительно, приблизительно и постепенно, как физические законы, так и некоторые из особенностей индивидуальных физических объектов.

Все эти три высказывания по существу *метафизические*, в них утверждается существование внешнего мира, его закономерность и его познаваемость. Ни одно из них не является достаточно специфическим, чтобы относиться к какой-либо конкретной физической теории. Ни одно из них нельзя опровергнуть ни теоретически, ни эмпирически. Их можно лишь в той или иной степени подтвердить. В самом деле, любое успешное исследование повышает достоверность названных выше метафизических гипотез, тогда как ясно, что мы не можем возложить на них ответственность за наши неудачи. Более того, в фактуальных науках эти условия являются необходимыми для всякого подлинного начинания в любом исследовании. Ибо, если физические объекты не существуют, отпадает необходимость что-то открывать. Если поведение объектов полностью неупорядочено, то теряют смысл всякие намерения искать какие-либо законы. И если эти закономерности оказались вдруг за пределами нашего познания, то вообще не нужно тратить попусту свое время и силы на научную работу. Одним

¹ Подробнее относительно семантики науки см.: M. Bunge (ed.), *Exact Philosophy: Problems, Methods, Goals*, D. Reidel Publ. Co. Dordrecht, 1972.

словом, приведенные выше утверждения являются *метафизическими предпосылками* физического исследования. Более того, конкретные примеры утверждения M_1 , такие, как, например, «существуют гравитационные поля», принадлежат к аксиоматическим реконструкциям физических теорий, как мы это увидим в гл. 8.

Таким образом, как исследование, так и его результаты в физических науках предполагают некоторое число метафизических гипотез, которые выдвигаются, суммируются, систематизируются и тщательно исследуются в той области, которая может быть названа метафизикой науки. Тот факт, что наука предполагает некоторую метафизику, должен внушать не опасения, а, напротив, ориентировать исследование на убедительные, ясные и плодотворные системы метафизики — системы, которые могут оказать помощь научному исследованию, а не мешать ему излишними запретами или все дозволяющими принципами. Если мы этого не сделаем, то вместо нас за дело примутся метафизики традиционного или спекулятивного склада мышления. Во всяком случае, метафизики избежать нельзя¹.

Итак, физические теории предполагают и включают некоторое число семантических и метафизических идей. Правда, большинство из этих идей не являются достаточно ясными, семантика и метафизика физики пока что отчетливо не оформились, это еще сырые полуфабрикаты.

А посему, нам нужно продолжать поддерживать огонь в печи, в которой все остальное — и огонь, и дверца — уже имеется.

7. Протофизика

Кроме формальной и философской компонент, составляющих предпосылки физической теории, можно вычлениить и третью — протофизику. Эта область состоит из некоторого числа принципов и теорий, которые имеют отношение к самым общим чертам физических систем, столь общим, что протофизика по существу образует специальный раздел точной метафизики. Одной

¹ Подробнее об этом см.: M. Bunge, *Method, Model and Matter*, 1972, Part III.

из теорий протофизики является мереология (mereology) — теория о соотношении частей и целого. Цель мереологии заключается в выявлении с позиций системного подхода, то есть с помощью некоторой теории или, вернее, множества теорий, первичных понятий системы и ее существенных частей, образующих системы либо путем объединения (физического сложения $+$), либо путем взаимопроникновения или суперпозиции (физическое произведение \times). Очевидно, что некоторые из этих теорий обходятся рассмотрением в явном виде неизмеримых или суммативных свойств целого. Так, электрический заряд $Q(x + y)$ системы, составленной из двух тел x и y , будет суммой их индивидуальных зарядов, а общая энергия линейной суперпозиции двух полей, то есть сложной системы $x \times y$, равна сумме их индивидуальных энергий. Разъяснение основных понятий мереологии можно получить на примере физической интерпретации булевой алгебры¹. Другим примером является модель теории колец².

Как только будут получены ясные понятия простой и сложной системы, мы сможем ввести понятие физического свойства, представляя его как отображение (функция или оператор) на множестве всех систем некоторого вида. Таким образом, можно избежать бессодержательного понятия свойства, которое оторвано от системы, и вместе с этим неверного толкования количественных свойств как простого набора чисел. Отсюда можно перейти к определению понятия состояния системы как некоторой точки в определенном пространстве (пространстве состояний). Затем открывается возможность представления события в качестве упорядоченной пары точек в пространстве состояний. В таком случае процесс определяется как последовательность событий, то есть как траектория в пространстве состояний³.

После того как разъяснены понятия вещи (системы) и ее изменений (событий), можно выдвинуть некоторые реляционные идеи относительно физического пространства и времени. Лучшим способом здесь остается аксио-

¹ См.: M. Bunge, Foundations of Physics.

² M. Bunge, Method, Model and Matter.

³ M. Bunge, International Journal of Theoretical Physics, 1968, vol. 1, p. 205.

матический. Так, например, метрическая физическая геометрия может быть построена путем уточнения вида функции расстояния, определенной на топологическом произведении множества физических точек на самих себя. Физическая точка при этом характеризуется как такая точка, в которой исчезают не все физические свойства. Подобным же образом основания теории времени могут состоять из некоторого набора аксиом для длительности, построенной как действительная функция на множестве упорядоченных троек: событие — событие — система отсчета¹.

Точно так же, как для вещи, свойства, события, пространства и времени, обстоит дело и с другими протофизическими (или метафизическими) понятиями, такими, как понятия причинности и физической вероятности.

Все они могут быть разъяснены с помощью небольшого числа логических или математических понятий, и данная процедура обеспечивает ясные (это не означает, что совершенные) протофизические основания физики. Конечно, физика этой ясности не дожидалась. Более того, протофизика не могла возникнуть, пока сама физика не получила достаточного развития. Аналогично люди начали вычислять задолго до того, как могли быть даны строгие или даже слишком строгие и все же не окончательные основания теории множеств, алгебры и топологии. Но такая работа в области оснований математики оказалась в конечном счете необходимой для того, чтобы ей преодолеть кризис, обрести единство, а тем самым и способствовать развитию математического анализа. В этом смысле, даже если протофизика и не дала бы ничего, кроме некоторой ясности, ее следовало бы приветствовать или по крайней мере отнести к ней терпимо.

Итак, любая физическая теория предполагает некоторое число идей, которые не относятся к самой физике: (а) формальные предпосылки (логика и математика); (б) философские предпосылки (семантика и метафизика) и (с) протофизика (основы теории систем, общая теория пространства и времени, теория физической вероятности и т. д.).

Некоторые физические теории включают в себя также одну или несколько более конкретных физических

¹ M. Bunge, *Philosophy of Science*, 1968, vol. 35, p. 355.

теорий. Так, физика твердого тела предполагает квантовую механику, классическую теорию электромагнетизма и статистическую механику. Она представляет собой прикладную область этих теорий, которые в свою очередь могут рассматриваться как фундаментальные на нескольких уровнях. *Фундаментальной*, в строгом смысле этого слова, является не та физическая теория, которая свободна от предположений, а та, которая не предполагает никакой другой физической теории. Классическая механика и квантовая электродинамика являются примерами фундаментальных теорий. Цель проведения такого различия между фундаментальными и нефундаментальными теориями состоит в том, чтобы избежать круга, вроде попытки вывести электромагнитную теорию из закона Кулона и специальной теории относительности, которая на самом деле основывается на теории Максвелла.

Этим завершается наш краткий обзор предпосылок физической теории. Перейдем теперь к рассмотрению логического статуса первичных понятий.

8. Первичные понятия

Строительными блоками любой аксиоматической теории являются, конечно, ее неопределяемые, или первичные, понятия (вспомните раздел 4). Первичные понятия, используемые при построении аксиоматической системы, можно расклассифицировать на *родовые* и *специфические*. Первые входят в некоторое число теорий, относящихся к различным областям физического знания, тогда как вторые связаны с характеристиками частной теории. Так, родовое понятие состояния и специфическое понятие энтропии являются неопределяемыми понятиями термодинамики. Любая физическая теория может заимствовать свои родовые первичные понятия из своих предпосылок в надежде, что некоторые из них приживутся на ее почве. Во всяком случае, от любой частной физической теории не следует ожидать, что она может дать разъяснение какому-либо родовому физическому понятию.

Отправной точкой любой физической системы аксиом является в таком случае множество *специфических первичных понятий*, то есть неопределяемых понятий, которые имеют отношение к тому частному типу систем, ко-

торый изучается теорией и, следовательно, не разъясняется любой из теорий, составляющих формальные, философские или протофизические предпосылки данной частной физической теории. Часто, однако, бывает удобным выдвинуть некоторые из этих протофизических понятий на передний план и трактовать на равных началах со специфическими исходными первичными понятиями данной теории. Это имеет место, например, в случае понятий пространства и времени. Имеются три веских основания для включения этих понятий в исходный базис любой физической теории, которой приходится их использовать. Во-первых, ради единообразия, поскольку при этом все «переменные» (фактически множества и функции) теории, которым приписывается физическое значение, вносятся в список, становясь тем самым обозримыми. Иначе говоря, они сводятся воедино и находятся под неослабным контролем. Во-вторых, потому, что разные теории могут нуждаться в различных концепциях пространства и времени и очень немногие совсем не нуждаются в них. (Статика является, например, теорией, в которой отсутствует время, тогда как элементарная теория электрических цепей представляет собой теорию, в которой отсутствует понятие пространства.) В-третьих, потому, что протофизические понятия часто бывают окутаны туманом, который может быть развеян, только если мы достаточно тщательно исследуем их.

Условимся называть *первичной основой* некоторой физической теории совокупность ее неопределяемых понятий, которым приписывается физическое значение и которые встречаются в физических предположениях данной теории. Так, первичная основа геометрической оптики состоит из трех множеств и одной функции: евклидова трехмерного пространства, световых лучей, оптической среды и показателя преломления. Функция аксиом геометрической оптики состоит в том, чтобы охарактеризовать как формально, так и семантически все четыре первичных понятия и склеить из них основной закон теории, а именно принцип Ферма. И такая характеристика (не дефиниция) как фундаментальных понятий, так и фундаментальных утверждений теории имеет ту же самую основную цель, что и соответствующие доаксиоматические (или наивные) формулировки, а именно описание некоторых физических сущностей, а также объясне-

ние и предсказание их поведения. Независимо от того, является ли физическая теория аксиоматической или нет, ее цель отличается от цели теории в чистой математике. Там, где первая описывает, вторая определяет. Поэтому, если аксиомы теории решеток (lattice theory) определяют и даже порождают целую категорию решеток, то аксиомы геометрической оптики пытаются отобразить вещи, которым нельзя дать логическое определение, а именно оптические системы. Как раз в этом месте расходятся пути физической и математической аксиоматики.

Формалисты утверждают, что коль скоро математика основывается на теории множеств, то необходимо, чтобы анализ научной теории базировался лишь на теоретико-множественных понятиях. Более того, поскольку каждое физическое понятие обладает структурой теоретико-множественного объекта, они склонны полагать, что первичных физических понятий просто не существует, а следовательно, и нет никаких различий между математической и физическими теориями¹. Согласно этой точке зрения, любая физическая теория имеет дело всего лишь с двумя основными понятиями: множеством X и функцией F : с областью ее определения и областью ее значения. Другими словами, своих первичных понятий у нее нет, поскольку указанные понятия являются собственностью теории множеств. Но рассуждая таким образом, можно прийти к выводу, что и математика также не имеет понятий, ей принадлежащих, ибо в конце концов любая математическая формула является формулой исчисления предикатов. Теория множеств характеризуется понятиями большой степени общности, такими, например, как понятие функции, тогда как специальные математические теории имеют дело с более частными понятиями, например понятием «аддитивная мера» и «синусоидальная функция», относительно которых теория множеств никакой конкретной информации не содержит. Нечто подобное справедливо и в отношении основных понятий физики. Даже если математика, как полагают, и раскрывает их формальную структуру, то их физическое значение не укладывается в математические формы и должно устанавливаться физикой. Несомненно, что (нерелятивистские) понятия массы и электрического заряда

¹ P. Suppes, Set-theoretical Structures in Science, Institute for mathematical Studies in Social Sciences, Stanford University, 1967.

идентичны в математическом отношении. То же самое можно сказать о понятиях пространственных и временных координат, хотя последние и имеют определенно различное содержание. В итоге можно сказать, что: (а) формализм не играет роль арбитра по отношению к физическим понятиям, которые не являются всего лишь путями формами, откуда следует, (b) что в отличие от математической теории физическая теория требует семантических предположений, соотносящих ее символы с некоторыми сущностями и их свойствами в физической реальности (см. гл. 3 и 4. Подробнее относительно формализма см.: M. Bunge, *Method, Model and Matter*, 1972).

9. Аксиомы

Как видим, проблема характеристики основных или определяемых физических понятий имеет две стороны. Понятия должны быть точно определены или хотя бы очерчены как по форме, так и по содержанию. В любой аксиоматической теории такая спецификация выполняется аксиомами. Аксиомы должны определять математический статус каждого первичного понятия (множество, дифференцируемое многообразие, гильбертово пространство и тому подобное), очерчивать его физическое содержание и соотносить каждое первичное понятие с другими так, чтобы можно было объяснить основные спектры физической системы, к которой относится наша теория.

Аксиомы должны выполнять в таком случае три функции: формальную, или математическую, семантическую и собственно физическую функции. Иными словами, каждая хорошо построенная физическая система аксиом будет содержать постулаты трех (и только трех) видов.

(1) *Формальные* (математические) предположения (или для краткости *FA*) — например, « P есть вероятностная мера на множестве S^2 всех упорядоченных пар элементов множества S ».

(2) *Семантические* (смысловые) предположения (или *SA*) — например, «если упорядоченная пара элементов $\langle s, s' \rangle$ принадлежит множеству S^2 , где S есть пространство состояний системы, то $P(\langle s, s' \rangle)$ обозначает (представляет) степень предрасположенности си-

стемы к переходу из состояния S в состояние S' .

(3) Физические предположения, (или PA)—наприме-
р, « $P(\langle s, s' \rangle) = P(\langle s', s \rangle)$ ».

Из этих трех групп аксиом третья, образованная из физических предпосылок, составляет ядро любой физической теории.

В самом деле, если формальные аксиомы касаются формы основных понятий, а семантические аксиомы принимают на себя заботу об их значении, то физические аксиомы говорят о самих физических системах, которые в конечном счете и являются *raison d'être* (смыслом существования) физической теории. В свою очередь, бесспорно, наиболее важными среди физических аксиом являются те, которые ориентированы на репрезентацию объективных физических законов. Остальные физические предположения, в частности уравнения связей и значения граничных условий, хотя логически и независимые от утверждений формулирующих законы, все же будут по отношению к ним вспомогательными. Они представляют собой просто дополнительные ограничения, налагаемые на различные переменные и функции, взаимосвязанные утверждениями, выражающими законы. Любая система аксиом, которая не содержит по крайней мере одного утверждения относительно закона, не может быть квалифицирована как физическая теория.

Какие физические предположения должны постулироваться в теории? Ясно, что все те, и только те формулы, которые не могут быть доказаны в рамках данной теории и относительно которых предполагается (или по крайней мере надеются), что они в некотором приближении будут верными. Уравнение движения или уравнение поля не будут постулировать, если их можно вывести из некоторого более сильного предположения (например, вариационного принципа), в особенности если более сильная аксиома содержит также и новые добавочные следствия, например уравнения сохранения. Излишне говорить, что под «выведением» или «доказательством» мы подразумеваем чисто концептуальную операцию — умозаключение, — посредством которой искомый вывод следует из множества предпосылок на основании правил вывода логических и математических теорий, лежащих в основании данной теории.

В частности, не имеет смысла в рамках, скажем, теории кварков «доказывать», что кварки существуют. Для подобного «доказательства» вполне достаточно показать, что существует нечто вне нас и такое, что, по всей видимости, удовлетворяет некоторым предположениям теории кварков. Этот процесс верификации, связанный с рассматриваемой теорией, опирается также на ряд других теорий, хотя к ним он прямо и не относится. Далее, после того как подобная эмпирическая проверка уже произведена, некоторые теоремы теории могут указать на возможное существование неизвестных до сих пор свойств референтов теории. Иначе говоря, в рамках теории могут быть доказаны или опровергнуты только теоремы. Все, что может быть доказано или сделано правдоподобным относительно физической теории, приходит извне: либо из эксперимента, либо из метатеории данной теории — как в случае доказательства непротиворечивости.

Резюме здесь простое: если мы хотим многое доказать, мы должны сформулировать сильные предпосылки (подробнее об этом см. гл. 8, § 3). Это не означает, что мы должны верить во все принимаемые нами предпосылки или хотя бы в одну из них. Единственное, что требуется, — так это строго придерживаться логических следствий из сформулированных предпосылок. Если бы оказалось, что какое-нибудь из этих следствий вступает в конфликт с принимаемыми идеями (фактическими данными или теориями), то мы, без сомнения, отказались бы от некоторых аксиом — а именно от тех, которые приводят к ошибочным следствиям. Этому правилу на практике, однако, не всегда следуют. Мы часто поступаем непоследовательно, штопая теорию на уровне теорем (например, вводя в последний момент изменение) вместо корректирования самих постулатов.

В частности, весьма сильные экзистенциальные предпосылки нужны хотя бы для того, чтобы убедиться, что они противоречат наблюдениям. Так, если теория говорит о некоторых сущностях, которые мы назовем, к примеру, «фриконами»¹, то мы должны исходить из сильной гипотезы, что фриканы *существуют*, даже если этому нет никаких экспериментальных доказательств. В про-

¹ От freakon — вычурный, капризный. — Прим. ред.

тивном случае, если множество фриконов с самого начала рассматривается как пустое, то теория будет бессодержательно истинной, ибо, исходя из несуществующего, нельзя с уверенностью что-либо предсказать. Точнее говоря, самая первая аксиома нашей теории, «фриконов» должна будет читаться примерно так: «(a) $F \neq \Phi$, (b) каждое f в F представляет фрикон». Коль скоро мы получили проверяемые следствия из таких сильных аксиом, мы можем надеяться проверить их с помощью эксперимента. Если в эксперименте фриканы (или, скорее, свидетельства их существования) не удастся обнаружить или не удастся подтвердить, что они обладают свойствами, которые приписывает им теория, последнюю стоит отбросить.

Однако предположение о физическом существовании хотя и необходимо, но недостаточно. Оно не может быть проверено, если вещи, существование которой предполагается, не дано гипотетического описания. То есть нам следует сформулировать точные предположения относительно свойств, строения и поведения референтов нашей теории. Такие гипотезы и будут собственно *физическими предположениями*. Если они достаточно общие и подтверждаются удовлетворительно, то они будут именоваться *законами*, или, лучше, *утверждениями о законах*, ибо сами физические законы предполагаются объективной структурой тех формул, с помощью которых мы пытаемся эти законы фиксировать. Так, в случае наших фриконов мы можем, например, постулировать, что *чем их больше, тем более Q -тыми они становятся*, где Q есть новое свойство, возникающее вместе с фриконами. Однако эта физическая гипотеза оказывается слишком неопределенной: и не только потому, что она содержит неясное новое свойство Q , но также и потому, что оно выражается на обычном языке. Мы должны ограничивать себя ясно определенными гипотезами, в противном случае мы не смогли бы сказать ничего определенного и были бы не в состоянии выдвинуть какие-либо определенные свидетельства за или против нашей гипотезы. Предположим, что из бесконечного числа математических формул, не противоречащих данному высказыванию на обычном языке, мы выбираем в качестве PA_1 следующее: для каждого f в

$\frac{dQ}{dN} = aN$, где a некоторое положительное действительное число.

С формальной точки зрения здесь все безукоризненно. Однако семантически это утверждение неопределенно и, следовательно, эмпирически непроверяемо хотя бы потому, что существует много величин, рост которых пропорционален их общей численности. Поэтому мы должны связать новое свойство Q с каким-либо уже достаточно хорошо известным физическим свойством. Только в таком случае мы будем в состоянии установить свойство Q или даже опознать фрикон. В общем плане: изолированные гипотезы непроверяемы.

Допустим теперь, что теория фриконов как-то связана с теорией электромагнитного излучения. Предположим, например, для конкретности, что: *фриконы порождаются фотонами*. Простая математическая формулировка этого предположения в терминах плотности энергии поля ρ является следующей:

$PA_2: \frac{dN}{d\rho} = b$, где b положительное действительное число.

Мы можем теперь доказать несколько теорем и попросить экспериментатора проверить их. Но это возможно лишь потому, что мы интуитивно предполагаем: *a)* некоторые очевидные математические свойства наших основных функций (например, дифференцируемость) и *b)* вполне определенный физический смысл каждого символа наших аксиом. Как уже говорилось, основная черта аксиоматики заключается именно в том, что она не оставляет места для интуитивных предположений, то есть вне аксиом ничего не предполагается. Следовательно, наши первоначальные допущения следует дополнить двумя дальнейшими группами аксиом, одна из которых представляет собой математические, другая — семантические предпосылки. В следующем параграфе мы проведем анализ этих аксиом, но прежде сделаем несколько общих выводов.

Первый вывод: в аксиоматиках, как и в обычной жизни, если мы хотим что-то выиграть, следует рискнуть. Иными словами, не нужно страшиться сильных аксиом, если они доступны проверке и обещают объяснить нечто такое, что мы раньше не понимали. Далее, физических аксиомах нет ничего священного и неприкосновенного. Это всего лишь предпосылки, которые про-

вероятся своими следствиями и своей совместимостью с общепринятыми идеями. Но и успешное прохождение всех испытаний не гарантирует вечности аксиом, точно так же как успех в жизни не приносит с собой бессмертия.

10. Формальные и семантические предпосылки: забытые ингредиенты

Несомненно, что содержание физических теорий составляют ее физические предпосылки. Следовательно, цель всякой предпринимаемой аксиоматизации должна была бы состоять в том, чтобы выразить эти предположения в убедительной и ясной форме. Однако без математических и семантических допущений физические предпосылки не имеют смысла. В самом деле, любая формула представляет собой не более чем цепочку знаков, если ее математическая природа точно не определяется и если ничего не говорится, хотя бы схематично, о вещах и свойствах, которые, как предполагается, должны представлять первичные символы. Так, в примере, который был приведен в начале предыдущего параграфа, третья формула будет непонятной без предшествующих утверждений, в то время как в свете этих утверждений она «говорит», что вероятности переходов симметричны или обратимы. Обычно такая информация получается из контекста, но она не всегда однозначна, и контекст в этом случае мало что дает. Поскольку цель аксиоматики в том, чтобы избавиться от двусмысленностей и неоднозначностей, то любая физическая система аксиом должна включать в явном виде утверждения, касающиеся всех формальных и семантических характеристик первичных понятий. Чем сложнее теория, тем в более явной форме следует ее формулировать во избежание двусмысленности. Это возможно лишь в том случае, когда внимание сконцентрировано на аксиоматических основаниях теории.

Семантические предпосылки являются наиболее слабыми компонентами системы аксиом, ибо они выполняют только часть своей работы. Они лишь очерчивают семантический профиль первичных понятий и не передают точно их полного содержания. Физические значения являются настолько богатыми и неуловимыми, что

едва ли их можно было бы охватить одним-единственным предложением. К счастью, остальные компоненты теории — формальные и физические предпосылки — также вносят свой вклад в картину значения неопределенных символов. Так, в нашем первом примере формальное предположение делает ясным, что P является свойством пары, а не индивида, подсказывая тем самым, что P находится не на том же уровне, чем, скажем, температура. В самом деле, аргумент P есть аргумент, представляющий пару состояний системы, так что P является свойством второго порядка в отличие, например, от массы тела, которая, будучи мерой множества тел, является свойством индивидов. Что же касается физической предпосылки в данном примере, то она свидетельствует в пользу интерпретации P как вероятности перехода или тенденции к изменению состояния в полном согласии с субъективной, или диспозиционной, интерпретацией вероятности, которая защищалась Пуанкаре, Смолуховским и Поппером. Вообще же математические и физические предпосылки оправдывают семантические, а те в свою очередь задают смысловое ядро первичных понятий, не исчерпывая, однако, их полного значения. Опустите любую из указанных трех компонент, и вы не получите ничего полноценного. (Предшествующие заметки предполагают конструкцию значения знака в виде упорядоченной пары, составленной из подразумеваемого (connotation) и означаемого (denotation) идеей, к которой тот знак относится или которую он символизирует¹.)

Заметим, что в нашем первом примере символ $P(\langle s, s' \rangle)$ был интерпретирован с помощью весьма нечеткого понятия тенденции или предрасположения, а не с помощью более ясного понятия относительной частоты. Первая причина предпочтения понятию тенденции перед статистическим понятием частоты состоит в следующем. Число $P(\langle s, s' \rangle)$ касается некоторого произвольного члена из совокупности переходов состояний, тогда как соответствующая относительная частота относится ко всей совокупности. Это коллективное свойство. Вторая причина, по которой нельзя приравнивать вероятности частотам, состоит в том, что частоты не удовлетворяют

¹ M. Bunge, *Method, Model and Matter*, 1972; and M. Bunge (ed.), *Exact Philosophy: Problems, Methods, Goals*, 1972.

аксиомам исчисления вероятностей. Конечно, если данная теория вероятностей является верной, то наблюдаемые относительные частоты будут приближаться в длинной серии испытаний к вычисленным вероятностям. Но относительная частота и вероятность не означают одно и то же. Наблюдаемые относительные частоты дают численную оценку вероятности, но они не единственные в этом роде, и уж, во всяком случае, не они наполняют содержанием формулу вероятности, точно так же как показания часов не придают значения символу 't'. Не следует смешивать значение физического символа с числовым значением соответствующей величины, оцениваемой с помощью наблюдений, хотя бы потому, что замысел и интерпретация научных наблюдений подразумевают ряд теорий, которые уже обладают значением.

Если значения смешиваются с экспериментальными процедурами или с их результатами, это означает, что мы принимаем операционалистскую философию науки. Если, с другой стороны, значение символа строится как коннотация (или множество свойств) конструкта, который его обозначает вместе с предполагаемым или гипотетическим классом референции, то, не впадая в противоречие, может быть принята реалистическая философия. В то время как прежняя философия концентрировалась на ученом и выполняемых им операциях, реалистическая философия ориентирована на объект сам по себе и поэтому близка по духу к целям физической науки, которая призвана открыть нам картину мира, а не сущность человеческой деятельности. Последнее есть задача наук о человеке. Во всяком случае, чтобы ни говорилось по поводу семантических предпосылок, ту или иную теорию значения мы обязаны принять. Отсюда также видно, что серьезный подход к физической аксиоматике не может обойтись без философии, которая должна в свою очередь серьезно отнестись к науке, если она хочет оказать ей какую-либо помощь.

Теперь мы готовы рассмотреть элементарные примеры физических аксиоматик и, кроме того, оценить преимущества и недостатки аксиоматического подхода. Эти задачи будут решаться в следующей главе.

Примеры аксиоматики и ее преимущества

Сейчас мы рассмотрим два сравнительно простых примера физической аксиоматики. Следует подчеркнуть, что они в одном важном отношении должны отличаться от систем аксиом в чистой математике. В самом деле, в то время как последние *определяют* целые семейства *формальных* объектов или структур, такие, как, например, решетки или топологические пространства, цель наших систем аксиом состоит в *характеристике* (а не определении) *видов* конкретных объектов, а именно физических систем, которые, по предположению, имеют независимое существование. Поэтому, если специалист по математической аксиоматике строит свою сеть аксиом безотносительно к реальному миру, то специалист по физической аксиоматике обязан оставаться в границах земного.

То есть, хотя физические аксиоматики и будут заимствовать все необходимые для них математические идеи, они не могут до конца придерживаться аксиоматического стиля чистой математики, которая сводит аксиоматизацию к определению некоторого сложного редиката, обычно строящегося на множестве теоретических компонент. Так, например, было бы неверно вводить понятие электрической цепи с помощью условия наподобие следующего:

Определения: структура $I = \langle G, T, V, e, i, R, C, L, M \rangle$, где G и T — множества; V, e и i — функции от $G \times T$; R, C, L — функция от G , а M — функция от $G \times G$, представляет собой некоторую *электрическую цепь*, если, и

только если (здесь следует список аксиом, характеризующих математический статус и взаимные отношения перечисленных первичных терминов G , T и т. д.).

Такую аксиоматическую дефиницию можно было бы квалифицировать и как *математическую* теорию, хотя и не очень интересную. Но ее нельзя квалифицировать как *физическую* теорию, потому что ей может удовлетворять любое число объектов, как формальных, так и конкретных, тогда как электрические цепи — вещи в своем роде единственные и, кроме того, находящиеся вне нас и не в нашей голове. Мы не можем строить физические системы на основе одного лишь воображения, как это делают математики, изобретая те или иные математические пространства. В отличие от гильбертова пространства любая электрическая цепь строится не из множества теоретических понятий, она не определяется в рамках теории множеств и не конструируется с ее помощью, она строится из источников электрической энергии, проводов и т. д. Самое лучшее, что мы можем сделать, это дать правильное описание некоторой цепи с помощью тщательно разработанных понятий и утверждений. Математикам, которые иногда претендуют на роль верховных законодателей, возможно, не понравится эта процедура, и они потребуют, чтобы мы *определили* физическую систему в чисто математических терминах без каких-либо примесей семантических предположений, привязывающих ее элементы к внешним объектам¹. Но это чисто платонистская позиция. Кроме того, она основывается на полном непонимании истинной цели физической аксиоматики. Напротив, целью физической аксиоматики является разъяснение особенностей *физической* теории вообще и главных характеристик частных физических теорий. И для этого она использует формальные инструменты, которые созданы совсем в другом месте — а именно в чистой математике².

Итак, за работу!

¹ См., например: H. Freudental, *Synthese*, 1970, vol. 21, p. 93.

² Дальнейшее рассмотрение этого вопроса см. в: D. Salt, *Foundations of Physics*, 1971, vol. 1, p. 307.

1. Первое упражнение в аксиоматизации. Теория цепей.

Мы сейчас займемся аксиоматизацией теории электрических цепей Кирхгофа — Гельмгольца. Начнем перечисления предположений или предпосылок, первичных понятий или строительных блоков, а также аксиом или постулатов.

Формальные предпосылки: обычная логика (исчисление предикатов с равенством), теория графов, элементарный математический анализ, а также теоретико-множественные, алгебраические, арифметические и топологические теории, предполагаемые анализом.

Философские предпосылки: семантика (теория знания и истины) и метафизические предположения научного исследования (например, независимость и интеллигибельность внешнего мира).

Протофизические предпосылки: элементарная теория истем, элементарная теория универсального времени, анализ размерностей.

Первичные понятия T (время), G (граф), V (потенциал), e (электродвижущая сила), i (сила тока), R (омическое сопротивление), C (емкость), L (самоиндукция) и M (взаимная индукция).

1. Аксиомы времени

1a) T есть некоторый интервал действительной числовой оси — $[FA]$.

1b) Каждый член t множества T представляет мгновение времени, а отношение \leq , которое упорядочивает (частично) T , представляет отношение «быть раньше» или «одновременно» — $[SA]$.

2. Аксиомы цепей

2a) $\{G\}$ есть непустое семейство ориентированных графов — $[FA]$.

2b) Для каждой электрической цепи существует член G семейства $\{G\}$, который представляет (моделирует) ее таким образом, что каждой клемме или соединению ставится в соответствие вершина G и каждому элементу приписывается определенное ребро графа G — $[SA]$

3. Аксиомы потенциала и тока

3a) e , V и i являются действительными ограниченными функциями на множестве упорядоченных пар (ребро графа, t) и непрерывными по t — $[FA]$.

(3b) Если n есть ребро графа $G \in \{G\}$, представляющего какую-либо электрическую цепь, тогда $e_n(t)$ — подведенное напряжение, $V_n(t)$ — электрический потенциал, а $i_n(t)$ — силу электрического тока в n -й ветви цепи, представленной n -ым ребром графа G — [SA].

4. Аксиомы параметров

(4a) R , C и L являются действительными ограниченными функциями на $G \in \{G\}$, а M есть симметричная квадратная матрица, каждый элемент которой — действительная ограниченная функция на $G \times G$ — [FA].

(4b) Если n и p — ребра графа $G \in \{G\}$, представляющего некоторую электрическую цепь, тогда R_n представляет собой омическое сопротивление, C_n — емкость и L_n — самоиндукцию n -й ветви цепи, тогда как M_{np} представляет взаимную индукцию между n -й и p -й ее ветвями — [SA].

5. Аксиомы законов

Если $G \in \{G\}$ представляет цепь в равновесии (устойчивое состояние), тогда:

(5a) на каждой вершине G сумма токов вдоль ветвей, представленная ребрами графов, встречающимися на данной вершине, равна нулю — (PA);

(5b) для любого контура G сумма потенциалов в ветвях этого контура стремится к нулю (PA);

(5c) для любого ребра n между двумя вершинами a и b графа G

$$L_n(di_n/dt) + R_n i_n + (1/C_n) \int dt i_n + \\ + \sum M_{np} (di_p/dt) + e_n = V_n(a) - V_n(b) - [PA].$$

Комментарии. (i) Наша система аксиом содержит четыре новых постулата, помимо обычных трех утверждений от (5a) до (5c). Функции этих дополнительных аксиом с 1-й по 4-ю состоят в том, чтобы подготовить почву для появления утверждений о законах, которые в противном случае не будут иметь смысла. Иными словами, предварительные аксиомы с 1-й по 4-ю специфицируют природу (но не соотношения) девяти первичных (неопределяемых) понятий теории. Эта спецификация является как формальной (математической), так и фактуальной (физической). Первая задается аксиомами, именуемыми FA (формальные предположения), в то время как контуры содержания намечаются аксиомами,

именуемыми SA (семантические предположения). В эвристическом подходе эти дополнительные предположения лишь подразумеваются, но эксплицитно они не формулируются. (ii) Иногда теория дает лишь удобный (точный или наводящий) язык — как в случае теории информации в генетике. Если это так, то такая теория не будет предпосылкой данной научной теории, за исключением, пожалуй, эвристического аспекта. В нашем случае теория графов обеспечивает как язык, так и систематизацию теорем, облегчая поиски и доказательства тех или иных утверждений относительно цепей. Отсюда следует, что теория графов является неотъемлемой частью предпосылок теории цепей. (iii) Вторые члены каждой аксиомы группы с 1-й по 4-ю содержат ключевое в семантическом отношении слово «представлять». Так, аксиома (2b) отнюдь не утверждает, что любая электрическая цепь непосредственно является ориентированным графом, а говорит о том, что она *представляется* или *моделируется* последним. Основания для этого следующие: (a) графы являются не вещами, а идеями и (b) любой данный граф может представлять целый класс эквивалентных реальных цепей. (iv) Если бы это было не так, то параметры цепи в аксиоме 4 следовало бы рассматривать как числа. Эти аксиомы утверждают, что параметры цепи являются ее физическими свойствами. Поскольку это феноменологическая теория, т. е. теория черного ящика, постольку она не говорит нам ничего о том, как и откуда возникают R , C , L и M . Это задача механистических теорий, таких, как теория Максвелла, электрохимия и теория твердого тела. (v) Два закона Кирхгофа сочетают два различных аспекта теории цепей: топологическую сторону и физическую. Еще лучше это видно с точки зрения матричного представления. В этом представлении токи и потенциалы различных ребер сводятся в матричные столбцы i и V , на которые действуют так называемая вершинная матрица A и матрица цепи B соответственно. В этой формулировке законы Кирхгофа записываются: $Ai = 0$ и $BV = 0$, где A и B суммируют топологические характеристики цепи, тогда как i и V являются физическими переменными¹.

¹ S. Seshu and M. B. Reed, Linear Graphs and Electrical Networks, Addison-Wesley Publishing Co., Reading, Mass., 1961.

2. Второй пример: классическая теория гравитации

Перейдем теперь к аксиоматизации теории гравитации Ньютона — Пуассона. Это поможет нам понять ее отношение к классической механике, с которой ее часто путают.

Формальные предпосылки: логика и математический анализ (в частности, теория потенциала), а также теоретико-множественные, алгебраические, арифметические и топологические предпосылки анализа.

Философские предпосылки: семантические и метафизические предпосылки научного исследования.

Протофизические предпосылки: элементарная теория систем, анализ размерностей, теория универсального времени и физическая евклидова геометрия.

Первичная основа: M^3 (дифференцируемое трехмерное многообразие), T (время), Σ (тело), B (репрезентативное тело), K (система отсчета), Γ (поле), U (потенциал), X (положение частицы), ρ (плотность тела), T (механическое напряжение), G (гравитационная постоянная).

1-я группа аксиом: пространство и время

(1.1a) M^3 есть трехмерное дифференцируемое многообразие (FA).

(1.1b) M^3 представляет обычное пространство (SA).

(1.2a) T есть интервал действительной числовой оси (FA).

(1.2b) Каждый член t множества T представляет собой мгновение времени, и отношение \leq , которое (частично) упорядочивает T , представляет отношение «быть раньше» или «одновременно с» (SA).

2-я группа аксиом: гравитационное поле

(2.1a) Γ есть непустое множество (FA).

(2.1b) Каждая $\gamma \in \Gamma$ есть гравитационное поле (SA).

(2.2a) $\{U_\gamma\}$ есть непустое семейство скалярных полей в M^3 (FA).

(2.2b) Для каждого $\gamma \in \Gamma$ имеется $U_\gamma \in \{U_\gamma\}$ такое, что U_γ есть действительная функция от $M^3 \times T$ (FA).

(2.2c) Каждая $U_\gamma \in \{U_\gamma\}$ и ее производная первого порядка являются гладкими на M^3 (FA).

(2.2d) $-\nabla U_\gamma(x, t)$ представляет собой напряженность гравитационного поля $\gamma \in \Gamma$ в $x \in M^3$ и $t \in T$ [SA].

- (2.3) G есть положительное действительное число (FA).
 (2.4) Для каждого $\gamma \in \Gamma$ и каждого $\sigma \in \Sigma$ в любой точке $X \in M^3$, в любое мгновение $t \in T$ и в (относительно) любой системе отсчета $k \in K$

$$\nabla^2 U + 4\pi G\rho = 0[PA].$$

3-я группа аксиом: тело и система отсчета

- (3.1a) Σ есть непустое счетное множество, не пересекающееся с множеством Γ [FA].
 (3.1b) Каждое $\sigma \in \Sigma$ есть некоторое тело [SA].
 (3.2a) B есть непустое семейство точечных множеств [FA].
 (3.2b) Каждое $b \in B$ есть трехмерное дифференцируемое многообразие [FA].
 (3.2c) Для каждого $\sigma \in \Sigma$ существует $b \in B$ такое, что b представляет (отражает, моделирует) σ точечным образом [SA].
 (3.3a) K есть непустое счетное множество, включенное в Σ [FA].
 (3.3b) Расстояние между любыми двумя точками в любой $k \in K$ является постоянным [PA].
 (3.3c) Никакое $k \in K$ не взаимодействует с каким-либо $\sigma \in \Sigma$, которое не является частью k [PA].
 (3.3d) Для каждого $k \in K$ в M^3 существует некоторая декартова система ортогональных осей $e = \langle e_1, e_2, e_3 \rangle$, такая, что $e \cong k$ (то есть e моделирует или отражает k) [SA].
 (3.4a) $\{X\}$ есть непустое семейство действительных векторных функций от $B \times K \times T$ (FA).
 (3.4b) Каждое $X \in \{X\}$ является ограниченной вариацией для любого данного $b \in B$ и $k \in K$ (FA).
 (3.4c) Если π является частицей σ и если $\beta \in b$, а $\beta \cong \cong \pi$, тогда $X(\beta, k, t)$ представляет расположение π относительно системы отсчета k в момент t (SA).
 (3.5a) $\{\rho\}$ есть непустое семейство функций [FA].
 (3.5b) Каждая $\rho \in \{\rho\}$ есть функция, отображающая $B \times M^3 \times T$ в множество неотрицательных действительных чисел, интегрируемая, по Лебегу, в любой конечной области M^3 [FA].
 (3.5c) Если $b \cong \sigma$, тогда $\rho(b, x, t)$ представляет плотность массы σ в x , t [SA].
 (3.6a) $\{T\}$ есть непустое семейство функций [FA].
 (3.6b) Каждое $T \in \{T\}$ есть действительная тензорная

функция с валентностью (2,0) по $B \times K \times M^3 \times T$ [FA].

(3.6с) Если $b \in B$, а $\sigma \in \Sigma$ и $\beta \in b$ и если π есть частица тела σ и, кроме того, $b \cong \sigma$, а $\beta \cong \pi$, тогда $T(\beta, k, x, t)$ будет напряжением в теле на частице π со стороны тела σ [SA].

(3.7) Для каждого $\gamma \in \Gamma$, каждого $b \cong \sigma$, каждого $\rho \in \{ \rho \}$, каждого $X \in \{ X \}$, каждого $T \in \{ T \}$, каждого $x \in M^3$ и каждого $t \in T$ существует по крайней мере одна $k \in K$, такая, что

$$\rho \ddot{X} = -\rho \nabla U + \text{div} T [PA].$$

Производные понятия

Определение 1. Результирующая масса:

$$b \cong \sigma \Rightarrow M(\sigma, t) = \int_{d_t X(b, t)} d^3x g^{1/2} \rho(b, x, t),$$

причем

$$g = \text{det} g_{ij}.$$

Определение 2. Плотность гравитационной силы, действующей на тело σ относительно системы $k \in K$

$$f(\sigma, k) = \text{div} -\rho \nabla U.$$

Определение 3. Инерциальная система: любая система отсчета, в которой удовлетворяются постулаты 3, называется *инерциальной системой*.

Среди бесконечного множества следствий, вытекающих из предложенного множества аксиом, упомянем лишь следующие.

Теорема 1. Гравитационный потенциал точечной частицы, обладающей массой M , равен

$$U(r) = GM/r.$$

Доказательство. Возьмем $\rho(r) = M\delta(r)/r^2$, где δ есть функция Дирака в аксиоме 2.4, и выразим ∇^2 в сферических координатах.

Следствие. Сила гравитации, действующая на частицу массы m со стороны поля, связанного с точечной частицей массы M , равна

$$F = GmM(X - r)/|X - r|^3.$$

Доказательство. С помощью теоремы 1 и определения 2.

Теорема 2. Уравнение движения невращающейся частицы массы m в поле точечной частицы массы M следующее:

$$\ddot{X} = GM(X - r)/|X - r|^3$$

Доказательство. Поставьте теорему 1 в аксиому 3.7, положите $T = 0$ и сократите ρ .

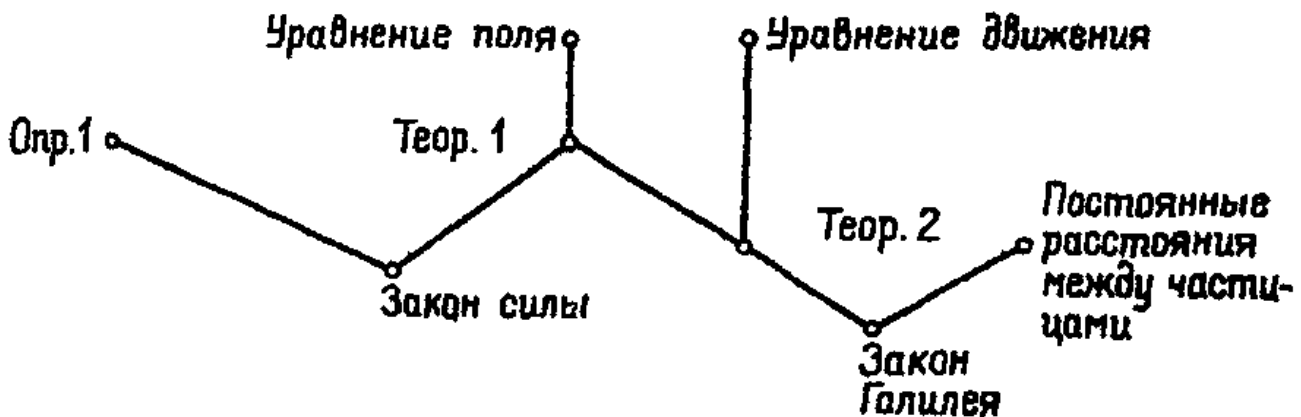
Следствие. При условиях, которые постулируются в теореме 2, и постоянных расстояниях между частицами

$$\ddot{X} = g = \text{const},$$

причем

$$g = \frac{GM}{r^2} \frac{(X - r)}{|X - r|}.$$

Логические отношения, которые были нами сейчас рассмотрены, наглядно представляются следующей схемой.



Комментарии. (i) Предшествующая система аксиом содержит всего лишь четыре физических предположения: одно относительно жесткости и пассивности систем отсчета [аксиомы (3.3b) и (3.3c) соответственно], уравнение поля [аксиома (2.4)] и уравнение движения [аксиома (3.7)]. Остающиеся 26 аксиом являются либо математическими, либо семантическими предположениями. (ii) Даже аксиома (2.3) относительно шкалы G гравитационного потенциала является математическим предположением. С другой стороны, утверждение, касающееся размерности G , может рассматриваться как физическое предположение, ибо оно следует из утверждений о законе в конъюнкции с анализом размерностей.

Поскольку оно является теоремой, постольку нет необходимости вводить его в аксиоматические основания теории. Далее, утверждение относительно точного числового значения величины G также является физическим утверждением, но это не предположение, ибо оно следует из законов в их конъюнкции с эмпирической информацией (например, данными относительно длины маятника и периода его колебаний). (iii) Уравнение поля формально тождественно с классическим уравнением электростатического поля, что часто озадачивает начинающих студентов. Если бы не было различия в поперомоторных силах соответствующих полей, то мы были бы не в состоянии провести различие между этими двумя полями. Это дает основание для включения в теорию уравнений движения. (iv) Элементарное изложение этой теории обычно ограничивается наиболее известным физическим законом, а именно теоремой 2, которая справедлива только для точечных частиц. Попытки авторов учебников получить общее уравнение движения (3.7) исходя из множества точечных частиц обречены на неудачу по очевидным математическим причинам. (v) Кинетическое действие гравитационного поля не зависит от массы только в специальном случае, когда напряженность поля характеризуется исчезающей дивергенцией. Это одно из тех ограничений, при которых статическое однородное гравитационное поле эквивалентно ускоренной системе отсчета. Если бы значение $\text{div } T$ не было почти пренебрежимо мало и им зачастую не пренебрегали бы из-за недостатка информации относительно T , тогда, возможно, и не был бы открыт принцип эквивалентности (в действительности одна из двух теорем, которые входят под этим именем в общую теорию относительности¹) и тем самым построение релятивистской теории гравитации было бы затруднено. (vi) Согласно уравнениям движения [аксиома (3.7)], кинетический эффект внутреннего напряжения, то есть $\text{div } T/\rho$, будет, если он отрицательный, противодействовать поперомоторному действию поля $-\nabla U$, а в исключительных случаях даже уравновешивать его.

Изложенных систем аксиом вполне достаточно, чтобы служить иллюстрацией к физической аксиоматике в

¹ См.: M. Bunge, Foundations of Physics, 1967.

духе сказанного в главе 7. Дополнительные примеры читатель сможет найти в нашей книге «Основания физики»¹.

3. Техника аксиоматизации

Никакой особой и изначально заданной техники для построения теорий не существует. Нельзя ни изобрести, ни запрограммировать какую-нибудь машину для построения теорий даже при условии, что ее можно снабдить неограниченным количеством данных. Построение теорий является столь же творческим, неясным и неуправляемым процессом, как и создание поэмы или симфонии². В то же время, например, имеются некоторые старинные приемы, помогающие в не слишком сложных случаях релятивизировать и квантовать классические теории. Специалист по теории относительности или квантовой механике, использующий эти приемы, ясно осознает качественные различия между такими теориями и двусмысленности, возникающие при подобных переходах. Аналогично существуют и некоторые эвристические правила для *переформулирования* физической теории аксиоматическим образом, однако успешное применение таких правил предполагает близкое знакомство с наивными или интуитивными формулировками, так же как и с их применениями. Поэтому выработать правила аксиоматизации для машины вряд ли возможно.

Как только физическая теория создана и достаточно ясно сформулирована, она может быть затем аксиоматизирована. Последовательность шагов, которая для этого требуется, имеет примерно такой вид:

① Дать критический обзор основных существующих формулировок теории, имея при этом в виду, что даже самых лучших из них могут быть пропущены весьма важные гипотезы, или, напротив, включены пустые, необоснованные предположения, или что теория в любой ее форме не отвечает современным стандартам логической и математической строгости, а ее физическая интерпретация неубедительна или даже противоречива.

¹ См. M. Bunge, *Foundations of Physics*, 1967.

² См. M. Бунге, *Интуиция и наука*, М., «Прогресс», 1967.

(ii) *Отобрать все основные стандартные формулы, которые фактически используются специалистами, работающими в этой области. То есть нужно собрать все те наиболее общие утверждения данной теории, и только те, которые используются в решении важных типичных проблем. Основное внимание следует обратить на то, что люди делают с помощью этих теорий, а не на то, что они говорят по их поводу.*

(iii) *Упомянутые выше утверждения надо расположить в порядке их общности, начиная с тех (если таковые имеются), которые не специфицируют никакие частные модели. Они и будут кандидатами либо на роль центральных аксиом, либо на место главных теорем аксиоматической теории.*

(iv) *Выделить главные понятия в отмеченных выше утверждениях. Некоторые из них будут первичными понятиями данной теории.*

(v) *Произвести предварительное разделение множества главных понятий на первичные и определяемые. Конечно, нужно начинать с понятий, которые обозначают рассматриваемую физическую систему. В противном случае вы можете так и не узнать, о чем идет речь.*

(vi) *Переформулировать ключевые утверждения (о которых шла речь в третьем пункте) в терминах кандидатов в первичные понятия (о которых говорилось в пятом пункте), используя при этом все необходимые логические и математические идеи.*

(vii) *Тщательно рассмотреть предшествующее множество утверждений и попытаться вывести более частные утверждения из более общих. Если нужно, следует добавить несколько дополнительных предположений. Те утверждения, которые не могут быть выведены таким способом, будут, вероятно, либо чуждыми теории, либо компонентами частной модели рассматриваемого предмета, но не ингредиентами общей теории.*

(viii) *Собрать все доказывающие утверждения или предпосылки и отложить все доказываемые. Первые будут принадлежать к аксиоматическому основанию теории.*

(ix) *Составить пересмотренный список первичных понятий, исследуя основные понятия утверждений, отобранных на восьмом шаге. (Некоторые новые исходные пер-*

вичные понятия могут войти незаметно вместе с дополнительными предпосылками, введенными на седьмом этапе.)

(x) *Изложить те математические и семантические условия, которым должны подчиняться первичные понятия для того, чтобы удовлетворять требованиям для кандидатов в аксиомы, которые были отобраны на восьмом этапе.*

(xi) *Собрать все кандидатуры на роль постулатов, полученные на восьмом и девятом этапах.*

(xii) *Перечислить все теории, утверждения которых считают предшествующими данной теории: они будут составлять основу или фон для данной теории.*

(xiii) *Собрать результаты девятого, одиннадцатого и двенадцатого этапов, то есть перечислить предположения, первичные понятия и аксиомы данной теории. Одно из возможных аксиоматических оснований данной теории будет готово.*

(xiv) *Проверить, приводит ли предшествующее к стандартным формулам теории или же уже содержит их (шаг ii). Если нет, то нужно рассмотреть список и дополнить его новыми аксиомами или же, наоборот, вычеркнуть некоторые из имеющихся аксиом.*

(xv) *Проверить, не содержит ли система аксиом каких-нибудь явно ошибочных следствий. Если содержит, то попытаться проследить их источники (производные и/или аксиомы) и видоизменить их, пока все нежелательное не будет устранено. Заменить их, если это необходимо.*

(xvi) *Проверить систему аксиом на непротиворечивость, независимость первичных понятий, независимость аксиом, а в конце и на другие метаматематические свойства, если у вас еще осталась на это энергия.*

Последний шаг — метаматематический анализ некоторой системы аксиом — осуществляется редко. Причины отсутствия таких исследований ясны. Во-первых, метаматематические исследования часто очень трудно осуществить. Во-вторых, специалисты в области исследований оснований науки обычно спешат заняться следующей теорией. В-третьих, они доверяют, хотя зачастую и ошибочно, своему чутью. Тем не менее систематическое исследование свойств аксиоматических систем совершенно необходимо, являясь столь же благодарной задачей, как и аналогичные исследования математических теорий, которые

именно этим исследованиям обязаны все большей своей убедительностью и даже красотой.

Само собой разумеется, что рассмотренные выше правила процедуры аксиоматизации должны применяться критически и с некоторым воображением, если мы хотим получить какие-нибудь существенные результаты. Реконструкция теорий отнюдь не механический процесс. Она требует известного чутья и опыта в поиске ключевых идей теории, а также равновесия между педантичной строгостью и полным ее отсутствием.

4. Свойства хорошей физической системы аксиом

Рассмотрим, какие свойства может иметь система аксиом, и попытаемся выяснить, какие из них желательны в физике и почему.

(i) *Формальная непротиворечивость*: система аксиом должна быть свободна от противоречий. В противном случае из нее будет следовать любое возможное утверждение, и поэтому ее можно использовать для доказательства всего, что угодно. В самом деле, из логической ложности следует все что угодно: если A ложно, тогда $A \Rightarrow B$ будет логически истинным для всякого B . Поэтому, согласно определению импликации, из A будет следовать B , что бы B ни означало.

Каждый согласится, что условие формальной непротиворечивости является первейшим требованием рациональности, и поэтому данному условию должна удовлетворять всякая теория. Тем не менее это условие часто нарушается. Так, широко распространено мнение, что теория поля может получить физическое значение только с помощью фикции пассивного пробного тела, которое должно дать возможность «операционального определения» напряженности поля. В то же время признано, что пробное тело, которое само не воздействует на поле, не может удовлетворять уравнениям поля, а в случае поля излучения, свободного от вещества, пробное тело тем более выглядит очень странно. Ясно также, что функция пробного тела состоит не в том, чтобы обеспечить теорию поля значением, а в лучшем случае в том, чтобы проверить ее. Но и это является фикцией, поскольку любой реальный инструмент для измерения куда более сложен,

чем мифическое пробное тело, пассивно движущееся вдоль силовой линии. В действительности же напряженности поля (или соответствующие потенциалы) вводятся не путем дефиниций, а с помощью аксиом. Нечто подобное случается всегда, когда пытаются определять физические значения в духе операционализма. В этих случаях происходит обычная путаница между референтом данной теории и методом ее проверки. При этом внимание переключается с объекта, или референта, теории на не относящиеся в данном случае к делу (иначе говоря, слишком конкретные) инструменты, которые якобы описываются данной теорией. Истина же состоит в том, что объяснение всякой реальной экспериментальной установки всегда основано на совокупности теорий, как это и будет показано в 10-й главе.

(ii) *Дедуктивная полнота*: система аксиом должна содержать (как аксиомы) или получать в качестве вывода (как теоремы) все известные утверждения о законах из области, которую должна охватывать данная теория, например уравнения движения, и/или уравнения поля, и/или уравнения состояния. Дедуктивная полнота обеспечивает максимальную степень истинности. В самом деле, утверждения о законах в любой области являются наилучшими из имеющихся способов концептуализации объективных структур, с которыми теория имеет дело. И в этом контексте «наилучшие» означает «наиболее истинные». Если некоторая система аксиом не охватывает какое-либо утверждение о законе в данной области, то ее нужно пополнить, либо добавив указанное утверждение в качестве еще одной аксиомы, либо усилив некоторые из уже имеющихся аксиом так, чтобы можно было это утверждение получить как их следствие. Требование (слабой) дедуктивной полноты вполне оправданно, но выполнить его весьма трудно. Однако оно должно по крайней мере осознаваться как высшая цель аксиоматизации. Не так обстоит дело с системой аксиом для квантовой механики, которая формулируется математиками: им часто не удается включить в нее общее уравнение Шредингера или его эквивалент, и поэтому их система аксиом не позволяет что-нибудь предсказать. Было бы ошибкой квалифицировать как *физическую теорию* любую систему аксиом, которая не касается физических систем, а имеет дело с математическими объектами или

же с конкретными нефизическими объектами, такими, как наблюдения, и которая не содержит никаких утверждений о законах.

Заметим, что наше требование слабой дедуктивной полноты относится лишь к утверждениям о законах. Оно не связано с условием, что из системы аксиом можно вывести любое утверждение в данной области. Физическая аксиоматическая система должна быть дедуктивно полной именно в *слабом*, а не *сильном* смысле, иначе к этой системе не удастся присоединить никаких новых предпосылок и физическая аксиоматическая система осталась бы без применения и проверки. (В самом деле, если имеется какое-либо утверждение s в определенной области знания, то s уже будет членом полной теории T , описывающей данную область, и таким образом s не может быть добавлено к T . Другой возможностью было бы присоединение к теории T отрицания утверждения s , однако это привело бы к противоречию: теория T' , которая была пополнена утверждением $\text{не-}s$, была бы противоречивой. Короче говоря, полная теория в сильном смысле не может быть пополнена, кроме того случая, когда выполнение этой задачи приведет к противоречивой теории. Эквивалентно: только неполные теории могут быть дополнены дальнейшими предпосылками без какого-либо риска, что это приведет к их противоречивости.)

В таком случае наши научные теории должны быть неполными, с тем чтобы их можно было пополнить не утверждениями о законах, а вспомогательными гипотезами и данными. Такими, как, например, предположение о постоянном расстоянии между частицами, которое мы добавили в параграфе 2 к аксиомам классической теории гравитации для того, чтобы получить галилеев закон свободного падения тел. В противном случае, то есть если бы наши теории были замкнутыми относительно внешних (но подходящих) предпосылок, они были бы неприменимыми и непроверяемыми, ибо каждое применение и каждое испытание теории требует дополнительных утверждений (то есть начальных условий, тех или иных значений функций и т. д.), которые являются слишком конкретными, чтобы быть включенными в аксиоматическую систему. Полная теория может быть или башней из слоновой кости, или некоторым приложением, теоретической моделью, и в обоих случаях неспособна охватить новые

спекты реальности. Одним словом, имеет смысл аксиоматизировать только ядро теории.

Во всяком случае, к полным теориям прийти трудно, и неполнота в сильном смысле желательна не только в физике, но иногда и в математике, поскольку дает возможность присоединять предположения иные, чем аксиомы, и получать, таким образом, более частные теории. Так, одна из причин гибкости и широты применения общей теории групп заключается в возможности пополнения ее любым числом предположений, например предположением о коммутативности (чтобы получить абелевы группы) или условием конечности числа элементов и т. д. (О неполных теориях иногда говорят, что они не аксиоматизируемы, но это, вообще говоря, неверно. То, что не может быть полностью аксиоматизируемым, так это всякая область, которую такие неполные теории намереваются схватить.)

Далее, чтобы достигнуть дедуктивной полноты в слабом смысле (исчерпывающего охвата законов в данной области), мы должны построить сильную систему аксиом. То есть, если мы хотим получить достаточно богатую теорию, мы должны выбрать достаточно сильные аксиомы, а для этого нам следует использовать сильные основные (неопределяемые) понятия. Сильное понятие есть такое, которое подразумевает много других понятий, точно так же, как сильной аксиомой является такая, которая имеет много логических следствий. Поэтому при построении системы аксиом нам не нужны высказывания о единичном (суждения относительно конкретных предметов), и вообще при построении системы аксиом мы должны стремиться отбросить все частности. Конкретизация здесь столь же нелепа, как и установление в законодательном порядке диаметров трубопроводов. Эти вопросы должны решаться на уровне применений. Даже достаточно общие, но производные высказывания должны быть исключены из списка кандидатов в систему аксиом. Так, например, нет необходимости постулировать математически среднее, поскольку из статистического распределения можно получить не только усредненные значения, но с таким же успехом и все остальные статистические моменты. Одним словом, мы должны отдавать предпочтение логической силе, ибо, чем сильнее какая-либо идея,

тем богаче ее содержание. Пусть эксперимент подрежет нам крылья, однако сначала они должны вырасти.

(iii) *Полнота первичных понятий*: аксиомы, помимо физических предположений, должны служить необходимыми и достаточными условиями для любого из базисных (неопределяемых) понятий данной теории для того, чтобы эти понятия имели и математический и физический смысл. Более того, каждая такая аксиома должна иметь смысл и сама по себе, так, чтобы ее можно было заменить или даже отвергнуть в поисках более совершенной теории или чтобы иметь возможность построить независимое от нее доказательство. Это требование минимума сложности. Поэтому мы должны иметь возможность разложить, например, такое утверждение: «существует бинарная ассоциативная операция на множестве S » на: « S есть множество» и «существует бинарная ассоциативная операция», так как в противном случае нельзя было бы найти модель (верную интерпретацию), в которой бы одно утверждение имело силу, тогда как другое нет.

Конкретизация математического статуса (множество, отношение, функция и т. д.) каждого первичного понятия является задачей математической, степень точности решения которой зависит от общего уровня развития математики. С другой стороны, задача придания физического смысла какому-нибудь символу редко решается достаточно удовлетворительным образом как по техническим, так и по философским причинам. Техническая трудность, коротко говоря, заключается в следующем. Если в математике некоторая теория обычно интерпретируется (если она интерпретируется вообще) в рамках некоторой другой теории (например, элементы группы интерпретируются как числа), то интерпретация физического символа состоит в приписывании ему некоторого *внетеоретического* объекта: или физической сущности (например, диэлектрика), или физического свойства (например, диэлектрической проницаемости). И такой физический коррелят или референт символа рассматривается как известный отчасти благодаря этой же самой физической теории. Следовательно, приписывание физического значения не делает термин термином в полном смысле этого слова. Конечно, не нужно забывать формулировать семантические пред-

положения, ибо они по крайней мере обрисовывают семантический профиль первичных понятий, но не следует думать, что они обеспечат символы ясно очерченным и полным значением. Резюме: физический смысл можно придать лишь теориям в целом, и даже в этом случае лишь в общих чертах.

Что же касается философских преград на пути решения этой задачи, то их можно видеть в существовании не внушающих особого доверия философских теорий, согласно которым необходимо сводить каждый теоретический термин к комплексу лабораторных операций, вместо того чтобы исходить из теоретического объяснения последних. Так, некоторые физики, стремясь придать физический смысл общей теории относительности, но, к сожалению, смешивая при этом значение с проверяемостью, хотят заполнить всю вселенную линейками и часами, с которыми будут манипулировать вездесущие наблюдатели. Поступая таким образом, они упускают из виду, что такое обилие измерительных инструментов и наблюдателей внесло бы искажения в изучаемое ими поле, и забывают, что добавление воображаемых элементов не делает теорию более реалистичной. Если какая-то теория должна быть физической, то ее следует интерпретировать именно в физических терминах: то есть не с помощью операций, совершаемых человеком, но таким образом, чтобы интерпретационные предположения приписывали (основным) символам предположительно объективные референты и чтобы эти предположения (которые могут оказаться ложными) не противоречили остальным предположениям данной системы аксиом.

(iv) *Независимость первичных понятий.* Основные понятия некоторой системы аксиом должны быть независимыми, то есть они не должны определяться друг через друга. (Если бы какое-либо из них определялось с помощью других основных понятий, тогда оно не было бы первичным понятием.) Значение этого свойства аксиоматической системы не столько в экономии, сколько в том, что оно сосредоточивает наше внимание на логическом базисе, предотвращая тем самым движение по кругу, как, например, попытку определить массу в виде отношения ускорения к силе (на основе ньютонова закона движения), а затем определить силу через произведение массы на ускорение.

(v) *Независимость постулатов.* В идеале различные аксиомы теории не должны выводиться друг из друга. (Если бы одна из них была выводима из некоторых других аксиом данной теории, то в таком случае она была бы ее теоремой.) Это условие является важным в первую очередь потому, что оно облегчает изменение и перестройку теории в процессе развития знания. Ибо если имеются аксиомы, ответственные за ошибочные следствия, то их можно выявить и устранить, сохраняя при этом остальные аксиомы. Одним словом, независимость постулатов способствует прогрессу в развитии теории.

5. Нежелательные характеристики

Итак, нами было отмечено пять желательных характеристик физической системы аксиом. Упомянем теперь о нежелательных. Одна из таких характеристик, а именно *полнота* в сильном смысле, уже упоминалась. Родственным свойством является свойство категоричности или, скорее, жесткости, негибкости. Категоричной теорией является такая, для которой любые две модели (истинные интерпретации) лежащего в ее основе абстрактного формализма являются изоморфными (структурно тождественными). Далее, необходимое условие изоморфизма заключается во взаимоднозначном соответствии между подобными множествами. Но такая жесткость в физике нам не нужна. Например, даже если две теории имеют формально тождественные исходные формулы (например, волновые уравнения), они тем не менее вполне могут относиться к совершенно различным видам физических систем, которые, будучи концептуализированы, не обязательно должны быть подобными.

Что можно сказать о *простоте*, в частности формальной простоте, или экономии формы? Обычно утверждают, что любая теория должна иметь максимум формальной простоты в смысле минимально возможного числа первичных понятий и аксиом. Однако это требование необходимо ограничить и дополнить условием, что минимизация основных идей (первичных понятий и аксиом) должна быть совместима и со слабой дедуктивной полнотой первичных понятий. Иначе упрощение может увести нас слишком далеко от истины. Во всяком случае, то, к чему мы стремимся, должно иметь оправдание, а никакого

разумного оправдания для формальной простоты пока не дано, за исключением того, что она удобна.

Тем не менее можно видеть одно из таких оправданий в том, что простота уменьшает возможность ошибки, и в частности скрытого противоречия. Так, например, если мы можем вывести основные законы поля только из вариационного принципа (дополняемого математическим и семантическим обрамлением), то едва ли мы столкнемся с проблемой непротиворечивости (точнее говоря, бремя доказательства непротиворечивости будет переложено на плечи математика). Но если это так, то, значит, простота сама по себе не может быть целью. Что касается других видов простоты — семантической, эпистемологической, методологической и прагматической¹, то они могут от случая к случаю иметь ценность, до тех пор пока они не вступают в конфликт с другими желательными характеристиками теории, главным образом с непротиворечивостью и слабой дедуктивной полнотой, которая включает и максимальную истинность. В конце концов цель научного исследования не в угождении философским предрассудкам, таким, как упрощение или неприязнь к теориям, а в стремлении понять вещи такими, какие они есть на самом деле, даже если эти вещи упорно придерживаются своей вредной привычки быть, как правило, гораздо сложнее, чем нами предполагалось первоначально.

При любых обстоятельствах число первичных понятий теории не может быть произвольно сокращено из-за угрозы довести улучшение теории этим методом до ее полной бесполезности. Минимальный элементарный базис качественной физической теории построен из двух понятий: класса референтов (множества физических сущностей, которые описывает теория), а также еще одного члена, который мог бы быть отношением или операцией на множестве, например физическим сложением или наложением двух произвольных элементов этого множества. В противном случае теория не могла бы содержать утверждения о законе, например о коммутативности физического сложения. Количественная теория требует по меньшей мере трех первичных понятий: класса референтов и еще двух других, которыми могут быть дополнительное

¹ M. Bunge, *The Myth of Simplicity*, New York, 1963.

множество и числовая функция от топологического произведения этих двух множеств. Например, относительно простейшей количественной формулы мы можем полагать, что она имеет следующий вид:

$$dP/dt = 0,$$

где P символизирует некоторое свойство и является действительной функцией от $\Sigma \times T$, причем Σ будет множеством референтов, а T — множеством моментов времени.

Итак, любая теория с двумя первичными понятиями нуждается по крайней мере в пяти аксиомах: одном физическом предположении относительно двух первичных понятий и двух нефизических (математических или семантических) предположениях для каждого первичного понятия, а также одной математической и одной семантической аксиоме. Вообще, N первичных понятий требуют минимум $2N + 1$ аксиом. Существует минимум простоты: обычно невозможно сжать все математические свойства некоторого понятия в одном-единственном утверждении, если, конечно, не прибегать к трюку соединения нескольких аксиом. (Этот трюк был применен в параграфе 1. Аксиома (3) на самом деле является соединением трех аксиом.) Не удивительно тогда, что даже элементарная теория, такая, как ньютонова механика материальной точки, которая имеет восемь независимых основных специфических понятий, должна была содержать более двух дюжины аксиом, когда их все удалось выписать по отдельности¹.

6. Преимущества аксиоматик

Имеется по крайней мере десять хороших доводов в пользу аксиоматического подхода к физической теории:

(i) *В явном виде устанавливаются определенные предположения, которые тем самым можно постоянно контролировать.* В том виде аксиоматик, который отстаивается в данной работе, предпосылки теории — как формальные, так и неформальные — выявляются с самого начала и могут быть сохранены в памяти для возможной критики и коррекции. Пример: иногда утверждают, что квантовая механика предполагает классическую. С дру-

¹ M. Bunge, *Foundations of Physics*, 1967.

гой стороны, известно, что эти две теории взаимно несовместимы. Подобной ошибки можно избежать благодаря аксиоматизации квантовой механики, которая исключает подобную зависимость.

(ii) *Референт теории удерживается в центре внимания.* Любое научное утверждение, если оно не сформулировано в деталях, может, видимо, не касаться какой бы то ни было реальной сущности или даже допускать произвольную интерпретацию своего содержания. Но если в аксиомах ясно утверждается, что *все* аргументы (или индексы) функций, которые появляются в утверждениях, реально существуют, ошибок такого рода, вероятно, удастся избежать. Пример: часто высказывают мнение, что квантовая механика говорит нам не об автономно существующих физических системах, а об измерениях, или о неанализируемых далее блоках объект — прибор — субъект, или о нашем знании, или даже о высказываниях. Так, догматически утверждается, что каждый гамильтониан можно мыслить как репрезентацию измерения энергии, даже если очевидно, что данный гамильтониан относится к независимой системе и из него нельзя извлечь никакой информации о том, как выполнить подобное измерение. В любой аксиоматизированной формулировке такие ни на чем не основанные утверждения исключены.

(iii) *Приписывание значений происходит систематически, непротиворечиво и буквально, а не беспорядочно, несовместимо и метафорически.* Любой не замкнутый контекст допускает произвол, поэтому приписывание значения по аналогии и есть прибежище для двусмысленностей и противоречий. В любом аксиоматизированном контексте подобный риск сводится к минимуму при условии существования в нем семантических аксиом. Пример: обычно в учебниках по квантовой механике величине ' ΔX ' дается множество взаимно несовместимых интерпретаций: среднее стандартное отклонение, субъективная неточность, ошибка измерения, ширина волнового пакета и т. д. Причем лишь немногие из этих интерпретаций совместимы с интерпретациями, приписываемыми остальным символам этой теории. Например, не может быть и речи о субъективной неточности, если субъект не вводится явным образом. Но в то же время любая аксиоматическая формулировка квантовой механики ограничится

одной-единственной интерпретацией ' ΔX ', более того, такой интерпретацией, которая совместима с интерпретацией, приписываемой как ' ΔX ', так и другим символам, то есть эта интерпретация не будет случайной игрой обстоятельств (см. гл. 5).

(iv) *Аксиоматика даст возможность открыть новые дополнительные теоремы.* Если начальные предпосылки данной теории изложены достаточно ясно и на лучшем из доступных математических языков, число ее теорем будет увеличиваться, то есть область известной теории должна расти. Пример: после аксиоматизации нескольких разделов классической физики в этой области недавно было получено несколько новых теорем¹.

(v) *Сводятся к минимуму несостоятельные доказательства.* При доказательстве какой-либо теоремы в незамкнутом контексте возникает искушение (часто оправданное) опереться на любые предпосылки, какие только могут помочь. Это перекрестное опыление иногда действительно оказывается плодотворным, приводя к новым ценным идеям, но оно может завести в тупик. В физике, представляющей собой систему теорий, многие из которых взаимонесовместимы, на это обстоятельство надо обращать особое внимание. Пренебрежение границами становится особенно опасным, будь то в физике или в математике, когда речь заходит о проверке метаутверждений, в частности утверждений относительно теории в целом, ибо в этом случае рассматриваемая теория должна быть ясно «определена», то есть она должна быть сформулирована аксиоматически. Пример: все рассуждения по поводу «виртуальных» процессов в атомной и ядерной физике, а также в физике элементарных частиц несостоятельны, так как они основываются на так называемом четвертом соотношении неопределенностей $\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar/2$, которое бессодержательно, поскольку время в квантовой механике есть переменная без дисперсии (см. гл. 2, § 2). В результате мезонная теория ядерных сил оказывается ненадежной, так как она предполагает, что механизм сильных взаимодействий заключается в обмене пионами, который происходит как обратимое преобразование про-

¹ C. Truesdell, *Six Lectures on Modern Natural Philosophy*, Springer-Verlag, New York 1966; *Rational Thermodynamics*, McGraw-Hill, New York, 1969.

тона в нейтрон и положительный пион. Эти процессы невозможны, потому что они нарушали бы закон сохранения энергии. В самом деле, массы нуклонов примерно одинаковы, а масса пиона равна примерно 140 Мэв. Но именно эти обмены и перенос пиона рассматриваются как источник стабильности ядра. Они именуются *виртуальными* (а не *фиктивными*) и оправдываются при помощи четвертого соотношения неопределенностей, которое само по себе является неправомерным. Оправдание состоит в следующем: полагая $\Delta E = 140$ Мэв (что довольно странно, поскольку в данном случае никакой дисперсии нет), получают $\Delta t > 10^{-24}$ сек. А это слишком короткий период для того, чтобы можно было наблюдать нарушение закона сохранения энергии, то есть для того, чтобы нарушение было реальным в операциональном смысле. Все это построение рухнет после того, как мы осознаем, что оно покоится на не имеющем смысла четвертом соотношении неопределенностей.

(vi) *Удастся уменьшить число ненужных доказательств.* В незамкнутом контексте часто возникает соблазн искать доказательства, которые оказываются вовсе не необходимыми или, даже более того, не всегда имеют смысл в данном контексте. Пример: утверждение, что не существует скрытых переменных, строго говоря, не имеет смысла. Смысл имеет лишь релятивизированное утверждение, согласно которому скрытых переменных нет в *стандартной* квантовой механике, ибо это утверждение может быть проверено (и доказано) путем тщательного рассмотрения основных динамических переменных данной теории, исследование которой предполагает ее аксиоматизацию. Часть дискуссий относительно скрытых переменных можно было бы предотвратить, если была бы достигнута подлинная аксиоматизация квантовой механики. Тем самым современные дискуссии¹ о возможности выхода за пределы квантовой механики либо в направлении дальнейшего усиления стохастических ингредиентов, либо, напротив, в сторону их ослабления получили бы несомненную помощь от ясной и убедительной аксиоматической формулировки, на основе которой можно было бы точно знать, что следует изменить для обобщения

¹ E. W. Bastin (ed.), *Quantum Theory and Beyond*, Cambridge University Press, 1971.

квантовой механики и какие виды новых переменных должны быть для этого введены.

(vii) *Получает отставку утопический рационализм.* Навивный рационалист стремится определить каждое понятие и доказать каждое утверждение. Но это в конечном счете ведет либо к движению по кругу, либо к бесконечному регрессу. Подлинная рациональность требует принять, по крайней мере *pro tempore* (временно), некоторое множество неопределяемых понятий и недоказуемых утверждений, ибо они позволят нам логически вывести, и тем самым подтвердить, все остальные. Конечно, это в целом делается не на веру и позднее должно быть оправдано. Оправданием для введения первичного понятия служит его роль в теории, а оправданием аксиомы будут вытекающие из нее (обычно в совокупности с другими предпосылками) теоремы, которые объясняют или предсказывают что-то. Пример: обыкновение начинать изложение со списка дефиниций есть несомненное свидетельство утопического рационализма. Именно таким образом многие пытаются логически вывести квантовую механику либо из классической физики, либо из чисто математических теорий.

(viii) *Приобретается эвристическая пронциательность.* Аксиоматическая теория, экспонируя свои предпосылки, наводит на мысль попробовать устранить некоторые из них, с тем чтобы заменить их на другие или обойтись без этого, с целью посмотреть, что «случится», то есть как данная процедура воздействует на множество следствий. Если какой-то постулат будет вычеркнут, то будут утеряны и некоторые теоремы. Если же он будет заменен другим предположением, то некоторые теоремы претерпят изменение. Во всяком случае, будет сформулирована некая новая теория. Пример: таким путем были построены неевклидовы геометрии.

(ix) *Облегчается возможность анализа.* Как правило, в контексте, который четко не фиксируется, какой-либо анализ физических идей попросту отсутствует. Отсутствует даже обычная для аксиоматического контекста дискуссия относительно определяемости. При таком подходе ничего нельзя привести в порядок, ибо вполне возможно, что одно понятие будет неопределяемым в одной системе и определяемым в другой. Точно так же некоторые гипотезы могут предполагаться в одной теории и вы-

водиться в другой. Анализ незамкнутого контекста по необходимости является неполным и неточным. Он пренебрегает основными идеями и вводит не относящиеся к делу понятия, и во всяком случае оказывается не в состоянии обнаружить точную форму и значение символа, так как, чтобы добиться этого, необходимо построить, хотя бы начерно, систему аксиом. Пример: можно было бы обойтись без недоразумений по поводу определения понятия времени с помощью необратимых процессов, если была бы построена аксиоматическая теория времени или по крайней мере выполнена аксиоматизация теории необратимых процессов. Первая теория продемонстрировала бы, что универсальное понятие времени, применимое в любой области физики, не следует привязывать к какому-либо специальному процессу. А вторая хотя бы начерно, систему аксиом. Пример: можно было бы написать уравнения необратимых процессов, необходимо было бы иметь некоторое понятие времени¹.

(х) *Исчезает привычка вносить изменения в отдельные формулы вне контекста.* Вспомним об утверждениях некоторых авторов, что специальная теория относительности якобы санкционирует гипотезу о существовании частиц, движущихся со сверхсветовой скоростью (таххионов). Эти утверждения выдвигаются на том основании, что подобное предположение согласуется с определением импульса в релятивистской механике. Возражение, которое напрашивается здесь с точки зрения аксиоматики, состоит в следующем. Тахионы, как и многие другие необычные вещи, могут, пожалуй, существовать реально, но когда они будут подчиняться какой-то другой теории, отличной от релятивистской механики с ее преобразованиями Лоренца, которым тахионы не подчиняются² и которая неприменима к случаю мнимых траекторий. Для $v > c$ не существует действительных траекторий для действительных сил, если воображаемому тахиону не приписывать мнимую массу, которая не имеет физического смысла. Такова же судьба предположения о существовании частицы с мнимым электрическим зарядом. Верно, что они могли бы взаимодействовать с помощью реальных кулоновских сил, но, согласно стандартной электромагнитной

¹ M. Bunge, *Studium Generale*, 1970, vol. 23, p. 562.

² K. H. Marwala, *American Journal of Physics*, 1969, vol. 37, p. 1281.

теории, они не смогли бы взаимодействовать с обычными заряженными частицами и были бы не в состоянии излучать электромагнитные волны. Вообще говоря, в то время как любая данная формула (если она берется изолированно) может быть модифицирована *ab libitum* (как угодно), теория в целом не может быть изменена с той же легкостью, поскольку она представляет собой систему взаимосвязанных компонент. Именно поэтому вполне оправданно приписывать теориям в целом или гипотетико-дедуктивным системам большую степень правдоподобия, нежели случайным предположениям.

(xi) *Даёт возможность упразднить числовую эквивалибристику.* С помощью чисто формальной игры с физическими константами и другими числами вполне возможно получить множество чисел, которые выглядят так, как если бы они имели важное физическое значение. Пифагорейские игры такого рода были популярны в 30-х годах нашего столетия, и мы можем снова к этому вернуться, если не научимся мыслить в терминах теорий в целом. В самом деле, требование аксиоматизации обнаруживает отсутствие смысла в таких играх, поскольку показывает: (а) что они едва ли приводят к каким-либо утверждениям о законах и (б) в них не удается ясно указать референты используемых символов. (Относительно тривиальности игры с числами см. гл. 3.)

(xii) *Делает возможной метаматематическую проверку.* Пока теория не аксиоматизирована, нельзя быть уверенным, обладает ли она какими-либо метаматематическими свойствами (например, непротиворечивостью), которые ей приписываются, или нет. (Аксиоматизация в этом случае необходима, но недостаточна. Даже в математике обычно удается в лучшем случае получить доказательство лишь *относительной* непротиворечивости. Так, можно доказать, что евклидова геометрия является непротиворечивой, выводя ее из предполагаемой непротиворечивости системы действительных чисел.) Пример: существующие доказательства эквивалентности (изоморфизма) матричной и волновой механики являются эвристическими, а не строгими по следующим двум причинам. Во-первых, само определение изоморфизма должно быть построено *ad hoc* для каждого вида теории. Так, определение изоморфизма для теории, базис первичных понятий которой состоит из множества и

отношения, отличается от аналогичного определения для теории с базисом из двух множеств. Во-вторых, в то время как это доказательство было дано, аксиоматической формулировки квантовой механики еще не было. Следовательно, можно сомневаться вместе с Дираком в том, являются ли обе формулировки на самом деле эквивалентными. Иногда нечто подобное утверждается и в связи с фейнмановской формулировкой квантовой механики с помощью понятия интегралов по путям в ее отношении к стандартным формулировкам.

(хiii) *Способствует лучшему запоминанию.* Психологи-экспериментаторы показали, что хорошо организованная система знания гораздо легче запоминается, чем множество терминов без всякой очевидной связи. Действительно, в недавней экспериментальной работе Миллера было показано, что «наше запоминание ограничено количеством единиц, или символов, которыми мы должны овладеть, а не количеством информации, которую эти символы представляют. Поэтому полезно организовать материал в форме, доступной пониманию, прежде чем пытаться его запомнить. Процедура организации позволяет нам упаковать то же самое количество информации в гораздо меньшее число символов и тем самым сильно облегчает задачу ее запоминания»¹. Поскольку наша способность запасать и хранить информацию довольно-таки ограничена, следовало бы воспользоваться психологическими преимуществами, сохраняя в памяти лишь центральные аксиомы и немногие типичные теоремы той или иной теории вместо пестрого конгломерата различных высказываний. Педагогические возможности аксиоматического подхода рассматриваются в § 8.

Обратимся теперь к претензиям, которые обычно высказываются по отношению к аксиоматике.

7. Стандартные возражения против аксиоматики

Основные возражения в адрес аксиоматического подхода, по всей видимости, следующие.

¹ J. A. Miller, *The Psychology of Communication*, Basic Books, New York, 1967, p. 12.

Возражение 1 Аксиоматика не дает нам картины процесса фактического построения теории. Следовательно, она не может научить нас, как строить теорию.

Ответ на возражение. Все это верно, но не относится к делу. Анализ фактического процесса исследования касается методологов, психологов, историков науки и биографов (см. гл. 7, § 1). Никто не может одновременно добиться и историчности и систематичности, ибо это два разных полюса. Работают или над тем, как получить достаточно краткую формулировку теории, или над тем, чтобы наилучшим образом осветить историю ее концепций — зигзагообразного процесса, полного самых разных и иногда неясных устремлений, так же как и не относящихся к делу, противоречивых и даже ложных шагов. Это не дефект аксиоматического метода, а, напротив, его достоинство, ибо он дает в завершенном виде продукты общественного потребления, для использования которых не требуется предварительного знакомства с биографиями ученых, занятых выбором целей исследования, а также построением, применением и проверкой данной теории.

Возражение 2. Аксиоматизация — это скорее перекраивание, а не оригинальный труд. Это работа для авторов учебников, а не для творческих исследователей.

Ответ на возражение. Математики этого мнения не разделяют. Они рассматривают аксиоматизацию геометрии Евклидом, аксиоматизацию арифметики Дедекиндом и Пеано, аксиоматизацию теории вероятностей Колмогоровым и многочисленные системы аксиом Бурбаки как оригинальные работы. Они полагают, что эти аксиоматизации (а) раскрывают в теориях существенные идеи и логические отношения, (б) проясняют и очищают эти идеи и таким образом (с) содействуют дальнейшему развитию теорий. Так, до работы Колмогорова по теории вероятностей и теории меры, лежащей в ее основе, в центре внимания исследователей, работающих в этой области, были главным образом так называемые последовательности Бернулли и утверждения, к ним относящиеся, такие, как закон больших чисел и принцип (теперь теорема), согласно которому для таких (весьма частного вида) последовательностей не следует ожидать систематических отклонений от вероятности. Хотя это

очень важные теоремы, они не являются логически фундаментальными, поскольку касаются частного случая (последовательностей Бернулли), и если все внимание сосредоточить только на них (как это и сделал фон Мизес), то можно прийти к ложным идеям относительно общности теории вероятностей и ее логической структуры. Итак, если математики признали ценность аксиоматики, то почему физики должны ее отрицать. (К слову сказать, что дурного в написании учебников? Почему хорошие учебники должны цениться меньше, чем плохие статьи?)

Возражение 3. Аксиоматики бесплодны. Новые законы открываются с помощью эвристических процедур, а не аксиоматических реконструкций того, что уже известно. И новые проблемы решаются путем применения и расширения существующих теорий, а не путем перекраивания их.

Ответ на возражение. В основном верно, но не совсем. Действительно, (а) сама аксиоматизация — это новшество, выявляющее неизвестные до того или скрытые черты, и (б) аксиоматизация обладает и некоторой эвристической силой, так как она способствует расширению границ применимости уже имеющихся теорий, а также их критике и замене более совершенными теориями (см. § 6). Более того, указанное возражение не затрагивает сути дела, ибо главная цель аксиоматики состоит не в отыскании новых законов, а в их правильном расположении. Эта цель состоит не в решении новых проблем *в рамках* теории, а скорее в ответах на вопросы *по поводу* теории. В самом деле, вторая цель аксиоматики связана с совершенствованием нашего знания о теориях, ибо ясное различие между ними по структуре и содержанию можно провести лишь после аксиоматизации и только тогда возможно, например, сравнить и оценить между собой различные конкурирующие теории (см. гл. 9). Даже если аксиоматизация какой-либо теории не делает ее более плодотворной, то есть не дает ей большей широты охвата и глубины, она все равно придает ей большую точность и понятность, давая возможность лучше оценить достоинства и недостатки той или иной теории, стимулируя тем самым плодотворные, а не только вызывающие раздражение дискуссии по этому вопросу. Кроме того, аксиоматизация помогает

лучше раскрыть и роль философии, которая связана с данной теорией.

Возражение 4. Аксиоматизация — это смирительная рубашка, она препятствует дальнейшему развитию теории.

Ответ на возражение. Как раз напротив, ясное очерчивание предпосылок теории облегчает получение дальнейших следствий, а также критику и оценку теории. До тех пор пока теория окутана неопределенностью и путаницей, она будет предметом бесконечной и бесплодной полемики. Если теория пуста, тогда ее аксиоматизация покажет это недвусмысленным образом; если же в ней содержатся зародыши ценного, то их можно будет лучшим образом вырастить и защитить от вредных влияний, разместив в явном и упорядоченном виде все компоненты теории, как хорошие, так и плохие.

Возражение 5. Аксиоматика авторитарна. Называя аксиомами то, что является всего лишь гипотезами, мы ощущаем благоговейный трепет, критическое мышление притупляется, и мы начинаем верить там, где следовало бы сомневаться.

Ответ на возражение. За этой позицией не стоит ничего, кроме суеверного страха перед словами и незнания как этимологии, так и современного значения слова «аксиома». Греческое слово $\alpha\chi\acute{\iota}\omega\mu\alpha$ в точности подобно латинскому слову *postulatus* и означает «запрос». Вот это и должны означать для нас термины «аксиома» и «постулат», после того как мы освободимся от философского догмата, согласно которому аксиомы должны быть чем-то самоочевидным и находиться вне критики. Записывая формулу и называя ее аксиомой, мы всего лишь просим рассмотреть и исследовать все, к чему она имеет отношение, а не поверить ей, принять ее во внимание, а не просто принять на веру. Иными словами, тот факт, что мы удостоаиваем предварительные гипотезы титула аксиом, вовсе не означает, что мы пытаемся, используя благоговейный страх перед ним, подавить всякую критику. Записывая наши начальные предположения в явном виде, мы готовим основу для плодотворной полемики, и в первую очередь полемики с самими собой, так как первое, что нам следует сделать с любой системой аксиом, так это найти и проверить, что из них следует. Если же мы отказываемся экспонировать

в явном и отчетливом виде все наши предположения (гипотезы), то, видимо, не остается ничего другого, кроме как заподозрить нас в нечестной игре. Аксиоматика означает тщательное рассмотрение, критику и диалог.

Возражение 6. Аксиоматика по-своему ограничена, но если так, то зачем обязательно к ней стремиться? В самом деле, любая плодотворная теория неполна. Это, во-первых (см. гл. 7). Во-вторых, аксиоматика не дает нам никаких указаний, как проверять теорию.

Ответ на возражение. Оба возражения правильны. Тем не менее оба они бьют мимо цели, поскольку ограниченность средств еще не означает их бесполезность. Что касается неполноты в метаматематическом смысле, которая присуща каждой богатой теории, то здесь нужно иметь в виду следующее: (а) математик сталкивается с теми же самыми ограничениями, но они не отпугивают его от использования аксиоматического подхода; (б) мы можем применять термин «полнота» и в более слабом смысле. Мы можем сказать, что физическая теория является дедуктивно полной в слабом смысле, если она содержит все стандартные теоремы в исследуемой области (см. § 4, п. 2). Что же касается замечания о том, что аксиоматическая система не содержит инструкций о том, как ее использовать и проверять, то это скорее ее преимущество, чем недостаток, ибо это и есть признак общности. Если теория — не важно, аксиоматизирована она или нет, — не содержит условий своего применения или процедуры эмпирической проверки, в таком случае в нее можно ввести дополнительные гипотетические предпосылки, конкретизирующие вещи и обстоятельства. В этом смысле классическая электродинамика полностью описывает свою область, ограниченную макрособытиями. С другой стороны, классическая термодинамика существенно неполная теория, потому что она неприменима к описанию столь распространенных неравновесных процессов. Конечно, аксиоматика не есть образец совершенства (в смысле полноты охвата). Но она является, во всяком случае, наилучшим из возможных способов упорядочивания теории. Зачем же бороться против нее?

Возражение 7. Основные понятия любой аксиоматической системы, будучи неопределяемыми, остаются тем самым неанализируемыми и, следовательно, неясными.

Ответ на возражение. Оно было верным во времена Аристотеля, но ошибочно сегодня. Это возражение по-контра на устаревшей теории определения. Необходимо усвоить, что определение — это только один из видов анализа и разъяснения, причем такой, который не всегда можно выполнить из-за опасности логического круга. Другой, более исчерпывающий вид анализа и разъяснения осуществляется с помощью аксиом, характеризующих форму и содержание неопределяемых идей.

Возражение 8. Аксиоматизация, будучи чисто формальной процедурой, неспособна овладеть фактуальным содержанием теории.

Ответ на возражение. Это верно для формальной аксиоматики, но, пожалуй, ошибочно по отношению к физической (см. гл. 7, § 8, 10). Если первая совершенно игнорирует физическое содержание, то физическая аксиоматика систематизирует предполагаемую интерпретацию формализма, добавляя семантические уточнения, отсутствующие в формальной аксиоматике, равно как и в неформальных или эвристических представлениях. В неформальных теоретических рассуждениях значения неявным образом определяются в рамках всего контекста. Поэтому и говорят о подразумеваемых значениях рассматриваемых символов. Более того, в незамкнутом контексте нет никакой гарантии непротиворечивости, как формальной, так и семантической. Только физические аксиоматики берут на себя ответственность за семантику на уровне аксиом и последовательно ею руководствуются вплоть до теорем. Поэтому только они могут очертить семантический профиль теории, но, конечно, в отличие от формы содержание всегда будет несколько туманным.

В заключение можно сказать, что основные возражения в адрес аксиоматики проистекают, видимо, из недостаточного знакомства с ней.

8. Место аксиоматики в процессе преподавания

Аксиоматика не предназначается для начинающего; до того как тот или иной порядок привносится в предмет обучения, последний должен быть воспринят неформально или эвристически. Преждевременное введение аксиоматического способа изложения может иметь отрицательные последствия в виде непонимания или отсутствия интереса. Свидетельством тому является обучение евклидовой геометрии в течение сотен лет до тех пор, пока не было обнаружено, что дети не есть взрослые малых размеров. Сам Гильберт, будучи энтузиастом использования аксиоматизации во всех областях обучения, хорошо осознавал педагогические и психологические границы аксиоматического подхода и советовал придерживаться в обучении разумного компромисса между ним и эвристическим или генетическим подходами. Помимо этого, Гильберт был также соавтором учебника по геометрии, содержание которого полностью ориентировано на интуитивное восприятие.

В таком случае возникает вопрос: когда же аксиоматика должна впервые вступать на сцену? Вообще говоря, как можно раньше, если мы хотим избежать множества ошибок, неясностей и повторений и если мы предпочитаем сосредоточиться на главном вместо изучения массы плохо увязанных друг с другом деталей. Но когда конкретно это становится возможным? Ясно, что высота аксиоматического барьера зависит от предмета. Современная алгебра может и, вероятно, должна преподаваться аксиоматическим методом с самого начала, даже на уровне первого года обучения в высшей школе¹. Но физика гораздо сложнее алгебры, она сложнее даже математического анализа, который нельзя излагать в аксиоматической форме аудитории, если она состоит из студентов, не обладающих минимальной математической подготовкой, а также способностью и вкусом к абстрактному мышлению. По-видимому, ясно, что изучение элементарной физики должно, как и раньше, опираться на эвристический подход хотя бы потому, что понимание физической системы аксиом требует овладения опреде-

¹ P. Suppes, in: *The Role of Axiomatics and Problem Solving in Mathematics*, Boston, Ginn and Co, 1966.

ленными математическими и логическими идеями, знание которых приобретается позднее. Однако преподаватели должны иметь представление о физической аксиоматике для того, чтобы избежать повторения многих заблуждений. Это ошибки естественнонаучного характера (вроде приравнивания массы и вещества, энергии и излучения), логические ошибки (вроде попыток дать логические определения всему или доказать отдельные предположения путем демонстрации того, что некоторые из их следствий являются фактически верными), философские ошибки (вроде смешивания понятий с высказыванием, или закона с правилом, или утверждение, что все теории можно вывести из экспериментальных данных).

Аксиоматический подход целесообразно вводить для студентов старших курсов и аспирантов. Но и здесь есть опасность ошибки, заключающейся в полном игнорировании эвристического подхода. Автор пытался достигнуть успеха путем следующего компромисса между эвристикой и аксиоматикой: *три четверти эвристики и одна четверть аксиоматики*. Первые три четверти времени можно было бы уделять, как обычно, неформальному (но не обязательно ошибочному и беспорядочному) изложению главных предпосылок и основных теорем, причем все это с большим количеством упражнений и обсуждением проблем. К концу этого периода любознательный студент столкнется с таким обилием материала, и в столь неупорядоченном и отрывочном виде, что он будет с нетерпением ожидать убедительного и четкого представления оснований теории. Овладев большим числом более или менее изолированных формул, он будет готов для аксиоматического представления целого, что может быть сделано самое малое за пару недель. Эта демонстрация аксиоматики даст студенту возможность повторить материал, лучше организовать его, глубже войти в него и критически проанализировать. Ибо любое аксиоматическое представление, не сопровождаемое критическим анализом, будет просто еще одним примером догмы. И ко всему этому (то есть критическому анализу некоторой системы аксиом) при благоприятном случае можно добавить немного методологии, чуть-чуть философии и столько же истории. Поскольку все это так или иначе делается, то уж лучше это делать явным образом и в

полном свете аксиоматической системы, чем тайно и в полутонах эвристики.

Одним словом, если освоены фундаментальные положения физических теорий, то излагать их в процессе преподавания нужно аксиоматически.

9. Заключительные замечания

Аксиоматизировать — это значит довести до максимума ясность и отчетливость. Тем, кого это мало волнует, аксиоматика вообще не нужна, но те, кому этот вопрос представляется очень важным, не успокоятся на малом, они будут по крайней мере терпимыми к попыткам внести организацию в довольно беспорядочные результаты первоначального исследования.

Конечно, не следует ставить аксиоматику выше создания новых плодотворных теорий. Однако соответствующая аксиоматизация хорошей, но противоречивой теории будет, конечно, не менее ценной, чем формулирование плохой и неприемлемой теории. Аксиоматизация не заменяет собой построения теорий и не конкурирует с ним, но, напротив, совершенствует этот творческий процесс. Подобно любой достаточно тонкой и изысканной вещи, аксиоматизация приносит с собой известные удобства, но, конечно, для повседневных целей она не является предметом первой необходимости.

Точно так же, как иногда нужны именно бисквиты, а не хлеб, так и в науке есть перекрестки, где упорядочивание имеет большую ценность, чем загромождение. Если проблема состоит в том, чтобы прояснить спорные теоретические и методологические вопросы, проанализировать и оценить теории, дать оценку конкурирующей программе построения теорий, а не в разработке и применении уже существующих, то аксиоматика становится первой необходимостью. В самом деле, на справедливый суд может рассчитывать только ясная и полностью сформулированная теория.

Аксиоматизация может также способствовать наступлению зрелости физической науки, а не только росту ее объема. Действительно, аксиоматизация усиливает убедительность и ясность, а следовательно, стимулирует анализ и критицизм, которые вместе с глубиной и

смелостью характеризует степень зрелости в отличие от простой объемности¹. И наконец, аксиоматика может помочь нам встретить информационный взрыв, или, вернее, потоп. Так что даже, если нам не удастся уследить за всеми деталями, мы все равно имеем возможность идти в ногу с развитием фундаментальных исследований в данной области. Проблемы оснований науки всегда стоят «на повестке дня», и едва ли следует ожидать для них окончательных решений.

¹ M. Bunge, in: Problems in the Philosophy of Science, 1968.

Система
теорий

Любая физическая теория может быть аккуратно и четко сформулирована, то есть аксиоматизирована. А как обстоит дело по отношению ко всей совокупности теорий? Можно ли упорядочить их в единую большую систему с фундаментальной, или всеохватывающей, теорией в качестве основы различных региональных теорий, которые были бы не чем иным, как логическими следствиями этой основы? О таком упорядочивании мечтали не однажды. Сто лет назад механика рассматривалась как основание всего здания физики. Позднее надежды переместились на электродинамику, а недавно и на общую теорию относительности или квантовую механику. Однако до сих пор не было найдено какой-либо окончательно унифицируемой (или, вернее, унифицирующей) теории, которая могла бы дать объяснение физической реальности в целом и содержать в себе любую частную теорию. Было лишь обнаружено: (а) что число теорий продолжает возрастать, (б) что некоторые теории, считавшиеся ранее автономными, оказались субтеориями других и (с) что целые классы теорий могут быть формально отнесены к некоторому всеохватывающему формализму, скажем такому, как лагранжев, который, увы, едва ли имеет какое-либо физическое значение. Очевидно, что любой подобный частный успех не отвечает требованию полной математической и физической унификации. Таким образом, на практике мы остаемся плюралистами, хотя некоторые из нас, возможно, и мечтают о единой супертеории. Поэтому понятно, что в основном занимаются развитием теорий, которые

имеют дело с еще не нанесенными на карту территориями, подобно физике высоких энергий, а не унификацией уже существующих, но явно недостаточных теорий.

Вполне ясно также, что существующие физические теории не могут быть сведены под эгиду единой исчерпывающей теории без существенного их изменения. Современные теории совместимы друг с другом не полностью. И мы не можем обойтись без каких-либо больших теорий, даже зная, что они имеют неискоренимые дефекты. Например, мы нуждаемся в классической механике, частично несовместимой с электродинамикой и квантовой механикой, хотя бы для того чтобы найти процедуры для проверки последних. Поэтому унифицирующая теория не может быть простым объединением имеющихся в нашем распоряжении теорий. Она должна быть радикально новой. Воплотится ли когда-либо эта мечта в действительность, предсказать невозможно. Во всяком случае, это проблема для физиков, а не для специалистов в области оснований и философии науки, поскольку она состоит в фактическом построении физической супертеории (и это не только математическая задача), а не в реорганизации или анализе каких-либо существующих теорий.

Независимо от того, возможна или нет какая-либо унифицирующая супертеория, нам следовало бы составить карту мира реальных физических теорий. В таком случае мы получили бы возможность выявить их взаимосвязь, как это было сделано математиками по отношению к большинству математических теорий. К сожалению, пока это остается открытой проблемой. Хотя всякий может начертить довольно много различных диаграмм, отображающих предполагаемые отношения различных физических теорий, едва ли имеются какие-нибудь доказательства, что на самом деле имеют место именно такие отношения, а не другие. И никаких подобных доказательств не существует именно потому, что необходимость доказательства подобных метатеоретических утверждений, по-видимому, вообще еще не осознана. Но даже если она и признается, остается неизвестным, как приступить к доказательству. Инструменты имеются, но мы не владем искусством обращения с ними.

Данная глава преследует три цели. Одна из них состоит в обозрении некоторых средств, необходимых для

исследования отношений между физическими теориями. Другая — в раскрытии богатства отношений между теориями в надежде на то, что это послужит напоминанием о сложности и абсолютно рудиментарном состоянии проблемы и, следовательно, будет стимулировать глубокий и единый подход к проблеме. Третья цель состоит в том, чтобы показать, что проблемы, касающиеся отношений между теориями, которые обычно рассматриваются в качестве решенных и представителями естественных наук, и философами, вряд ли корректно сформулированы.

1. Современное состояние проблемы

1.1. Три параллельных исследования

Как и в отношении других метанаучных проблем, в литературу по вопросам отношения между теориями делается вклад как учеными-естествоиспытателями, так и философами. И как это обычно случается, и те и другие не нашли ничего лучшего, как просто игнорировать друг друга. В этой ситуации они ухищряются также игнорировать и третью, наиболее ясно выраженную из всех группу. Речь идет о логиках и математиках, которые создали исчисление теорий, теорию моделей и теорию категорий и которые исследуют также формальные отношения между типотетико-дедуктивными системами. В результате отсутствия общения между этими тремя группами мы имеем достойную сожаления картину трех не связанных друг с другом областей исследований. Вполне естественно возникает настоятельная необходимость попытаться свести воедино эти направления исследований с целью выработать единую теорию интертеоретических отношений.

Специалисты, занимающиеся данной проблемой, почти всегда имеют дело с одним типом отношений между теориями, а именно случаем, когда две теории, имеющие примерно тот же самый предполагаемый референт (см. гл. 4), обладают различными областями или охватом данных и когда определенные физические параметры одной из них устремляются к пределу. Например, когда скорость света в вакууме стремится к бесконечности или

когда постоянная Планка приравняется к нулю. Хотя это очень интересный и важный случай, он все же не исчерпывает отношений между теориями. Кроме того, его необходимо трактовать более общим и строгим образом.

Философы, от которых следовало бы ожидать всестороннего критического рассмотрения проблемы, основное внимание уделяют только теории редукции. Она представляет огромный интерес для метафизики, но это лишь один из аспектов общей проблемы. Но, даже ограничиваясь анализом редукции, философы часто впадают в свехупрощения. Они упускают из виду технические трудности, с которыми сталкивается большинство редукционистских попыток. Типичным примером в этом отношении является утверждение, что механику твердого тела можно свести к механике материальной точки.

До сих пор наиболее весомый вклад в данный предмет исследования сделали логики и математики. Но не надо думать, что им удалось охватить все это поле исследований, ибо оно имеет и неформальные области. Задача философов — свести воедино эти различные точки зрения.

1.2. Вклад философа

Философские работы, касающиеся редукции, могут быть разбиты на два непересекающихся множества. Это работы, где упоминаются случаи, относительно которых утверждают, что они представляют собой редукцию. Подобные случаи подробно комментируются, но без особой уверенности в том, что они являются подлинными, а также без какого-либо анализа самого процесса редукции. Затем следуют работы, в которых делаются попытки анализа, и потому они содержат весьма глубокие и ценные замечания¹: Но в обоих случаях философы, интересующиеся проблемой редукции, видимо, считают само собой разумеющимся, что естественные науки изобилуют примерами успешной редукции, что,

¹ Например: E. Nagel, *The Structure of Science*, Harcourt, Brace & World, New York, 1961; H. Feigl, *The 'Mental' and the 'Physical'*, University of Minnesota Press, Minneapolis, 1967.

например, термодинамика полностью сводима к статистической механике, механика сплошных сред — к механике материальной точки, классическая механика — к квантовой механике, а любая релятивистская теория имеет по крайней мере один, и не больше чем один, нерелятивистский предельный случай, и т. д. К сожалению, подобное мнение бытует также в большинстве популярных работ, особенно в элементарных учебниках — единственном источнике информации, доступном большинству философов. Увы, это не тот вывод, который можно сделать, познакомившись с оригинальной литературой. На самом деле, например, не существует строгого вывода второго начала термодинамики. Пока что лишь термодинамика идеального газа — весьма специальный случай — сведена к динамике молекул. Что касается твердых тел, то механика частиц не может объяснить их существование, поскольку фактически частицы являются квантовомеханическими системами и связаны между собой полями, которые чужды механике материальной точки. В свою очередь квантовая механика не переходит в пределе в классическую. Она лишь исправляет некоторые формулы механики частиц, но не имеет отношения к механике сплошных сред, составляющей большую часть классической механики. Наконец, некоторые релятивистские теории вообще не имеют нерелятивистских предельных случаев, тогда как другие имеют их несколько. Мы займемся этими проблемами несколько позже. Здесь же достаточно сказать, что в философской литературе пока что нет каких-либо конкретных исследований случаев редукции теорий, более того, они и не появятся до тех пор, пока будет игнорироваться техническая литература по этому вопросу.

Правда, существуют отдельные плодотворные, но, к сожалению, немногочисленные философские исследования по проблеме редукции. Наиболее важным и стимулирующим было исследование Нагеля¹. Согласно Нагелю, имеются два вида редукции: *гомогенная* и *негомогенная*. В первом случае области охвата фактов обеих теорий качественно однородны (например, обе имеют дело с нейронными сетями), тогда как во втором случае одна теория имеет дело с психическими событиями,

¹ E. Nagel, *The Structure of Science*, New York, 1961.

а другая — с нейронными сетями. Соответственно при гомогенной редукции все понятия вторичной, или сводимой, теории T_2 представлены в первичной, или сводящей, теории T_1 . Следовательно, в этом случае редукция эквивалентна логическому выводу теории T_2 из теории T_1 . Примером такой редукции может служить редукция механики материальной точки к механике деформируемых тел. С другой стороны, негомогенная редукция рассматривает два качественно разных поля фактов, так что даже если редукция и осуществлена, то все равно вторичная теория T_2 не может быть непосредственно включена в первичную теорию T_1 . Дело здесь обстоит совсем иначе: по крайней мере одно понятие, встречающееся в сводимой теории T_2 , отсутствует в множестве основных понятий сводящей теории T_1 . Например, термодинамические понятия температуры и энтропии не присутствуют среди основных понятий кинетической теории газов. Поэтому из последней теории невозможно дедуктивно вывести термодинамические утверждения. Для того чтобы осуществить редукцию, должны быть введены дополнительные постулаты. Эти дополнительные предположения, которые не содержатся ни в T_1 , ни в T_2 , связывают все специфические термины теории T_2 с некоторыми терминами в теории T_1 . Поэтому их можно было бы назвать гипотезами, связующими теории, или переходными (bridge) гипотезами. Так, в кинетической теории газов должно постулироваться отношение между средней кинетической энергией молекул и температурой, и это дополнительное предположение будет не дефиницией, а новой синтетической (фактуальной) гипотезой.

Пока все хорошо. Но как только вторичная теория будет дополнена таким образом и приведена в должный порядок (то есть сформулирована аксиоматически), то ее отношение к первичной теории станет чисто логическим. Иными словами, различие между гомогенной и гетерогенной редукциями имеет историческую или эвристическую природу. Если оно встречается в теории на стадии ее построения, то оно исчезает при метатеоретическом рассмотрении конечных результатов. Поэтому пионерскую работу Нагеля по теории редукции следовало бы реконструировать и обобщить с точки зрения аксиоматической перспективы. Ибо даже в том случае, если какая-то аксиоматическая формулировка теории

не сможет существенным образом ее пополнить, она тем не менее всегда будет прояснять ее и, в частности, способствовать ясной формулировке обсуждаемых в данной теории проблем.

Перейдем теперь к другим аспектам вопроса. Сделаем критический обзор того, что уже достигнуто, и наметим стоящий перед нами круг задач.

2. Асимптотические отношения между теориями

2. 1. Интуитивные представления. Их неадекватность

Для науки в целом характерна преаксиоматическая ситуация. Даже когда сравниваются две или более конкурирующие теории, они редко, если вообще когда-либо, формулируются упорядоченным образом. Следовательно, вместо *систематического* сравнения теорий в целом сопоставляют два или более фрагмента типичных понятий и утверждений. И на основе такого подхода обычно делается общий вывод о логических отношениях между теориями.

Более того, сравнение теорий часто ограничивается *асимптотическими* значениями некоторых функций, или асимптотическими формами некоторых утверждений, как, например, утверждение, что риманова геометрия аппроксимируется евклидовой, когда метрический тензор стремится к постоянному диагональному тензору или когда говорят, что специальная теория относительности (*SR*) приближается к соответствующей нерелятивистской теории (*NR*), когда скорости рассматриваемых частиц v пренебрежимо малы по сравнению со скоростью света в вакууме c . Новичок в области метатеоретических исследований будет в подобных случаях трактовать теорию как целое, а иногда даже рассматривать ее просто как функцию, которая записывается с помощью некорректно сформулированных формул, таких, как

$$[1] \quad \lim_{v \ll c} SR = NR,$$

и в общем виде

$$[2] \quad \lim_{p \rightarrow 0} T_1 = T_2,$$

где p является некоторым характерным параметром. Но, несомненно, это всего лишь *метафора*, ибо любая теория есть не функция, а множество высказываний. Более того, указанный параметр может благополучно стремиться к своему пределу, но никакой редукции теории T_2 к теории T_1 при этом не происходит.

**2.2. Нерелятивистские предельные случаи:
иногда несуществующие,
иногда многократные**

Считается, что любая релятивистская теория имеет только один нерелятивистский предельный случай, так что, когда мы к нему переходим, теряются все «эффекты» второго и более высоких порядков, но сохраняется часть информации, относящаяся к «эффектам» первого порядка. Мы сейчас покажем, что это мнение не обосновано и что некоторые релятивистские теории вовсе не имеют нерелятивистских «предельных случаев», тогда как другие имеют их несколько.

Известно, что электромагнитная теория Максвелла для пространства, свободного от вещества, является релятивистской теорией, более того, она такова *avant la lettre* (буквально), но она не имеет нерелятивистского предела. В самом деле, основные уравнения этой теории не содержат какой-либо механической скорости v , откуда вытекает, что нет смысла рассматривать пределы функций для $v \ll c$. Аналогично не имеет смысла и другой предельный случай, когда c стремится к бесконечности, поскольку здесь мы приходим к субтеории статических полей. При этом исчезает такое специфическое свойство электромагнетизма, как электромагнитная индукция. Короче говоря, нерелятивистских приближений электромагнитной теории Максвелла не существует, имеются лишь нерелятивистские субтеории: электростатика и магнито-статика, а также нерелятивистские приближения электродинамики (но это уже другая история). Эти простые метатеоретические результаты важны, потому что они разрушают мифы о том, что (а) относительность связана с «эффектами» более высоких порядков, учитывать которые необходимо только для явлений, происходящих при высоких энергиях, и что (б) любая релятивистская теория имеет точно один нерелятивистский «предельный

случай», который охватывает, по существу, ту же самую область.

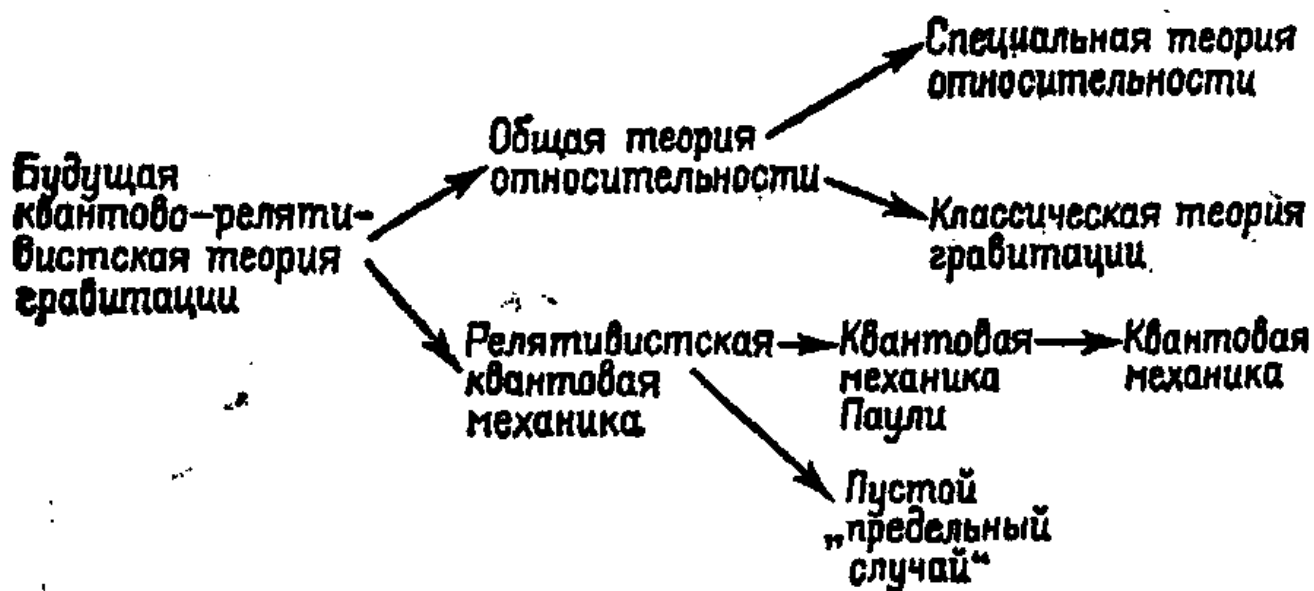
Что же касается существования многих нерелятивистских пределов, то простейшим примером здесь может служить общая теория относительности (*GR*). Общая теория относительности переходит в специальную теорию относительности при стремлении гравитации к нулю (эквивалентно: для плоского пространства), но она переходит в классическую теорию гравитации (Ньютона и Пуассона) (*CG*) для слабых статических полей и малых скоростей. (Фактически имеется и третий предельный случай, а именно для стремящегося к нулю тензора материи. В этом случае пространство — время может еще оставаться римановым, но физическая теория здесь уже отсутствует, ибо не остается ни вещества, ни электромагнитных полей. Однако этот случай, видимо, не представляет физического интереса как потому, что он не соответствует реальной ситуации, так и потому, что он не согласуется с предыдущей физической теорией. Это фактуально пустой предел.)

Интересно заметить, что классическая теория гравитации в качестве предельного случая общей теории относительности получается не с помощью устремления к бесконечности скорости света c во всех ее формулах, а несколько иначе. В действительности для того, чтобы получить этот классический (или, скорее, полуклассический) предельный случай, необходимо приравнять к нулю все компоненты тензора материи, за исключением компоненты 00 , которая приравнивается $m_0 c^2$. Существование двух различных и непустых предельных случаев общей теории относительности интересно и в том отношении, что здесь подтверждается мнение Эйнштейна (оспариваемое Фоком), что общая теория относительности есть обобщение специальной теории относительности. Однако этим также показывается, что частично прав и Фок, который считает, что общая теория относительности есть обобщение классической теории гравитации. Причем пока сохраняется догма, согласно которой существует всего лишь один предельный случай, либо Эйнштейн, либо Фок будут рассматриваться как обладатели всей истины относительно природы общей теории относительности. Наконец, если бы удалось построить плодотворную квантовую теорию гравитации, то

она, по-видимому, имела бы по крайней мере два различных предельных случая: общую теорию относительности либо для $\hbar \rightarrow 0$, либо для $T_{\mu\nu} = \langle T_{\mu\nu}^{QM} \rangle$ и релятивистскую квантовую механику для стремящейся к нулю гравитации.

Что касается дираковской квантовой теории электрона, то здесь существуют два рецепта получения ее нерелятивистских пределов. Один представляет собой стандартную процедуру пренебрежения всеми операторами, собственные (или средние) значения которых есть величины второго или более высокого порядка по v/c ; другой рецепт состоит в сохранении этих операторов, опуская при этом «малые» компоненты спинора состояния, то есть те, которые на порядок v/c отличаются от «больших» компонент спинора. Не удивительно, что в результате получается два всецело различных «предельных случая». Первая процедура, по существу, дает в итоге нерелятивистскую теорию Паули для частиц с полужелым спином, тогда как вторая приводит к уравнению, содержащему спин-орбитальный член, отсутствующий в первой. Второй предел оказывается при этом фактуально пустым, что опровергает еще одну популярную догму, по которой каждый предел, полученный из данной теории, охватывает некоторое подмножество фактов, которые она описывает. Что касается первого предельного случая (теория Паули), то он сводится к теории Шредингера после того, как опускается оператор спина.

Сказанное выше можно суммировать в следующей диаграмме:



После специальной теории относительности и квантовой механики стрелки отсутствуют, потому что отношение этих общих теорий к более специальным пока еще не поняты достаточно хорошо. В частности, нам неизвестны способы получения всей классической механики (то есть механики сплошных сред) как из специальной теории относительности, так и из квантовой механики, хотя почти в каждом учебнике можно найти противоположное утверждение, а следовательно, почти каждый философ науки считает эти редукции *совершившимся фактом*.

2.3. Асимптотическая теория может и не совпадать с более старой теорией

Мы привели примеры, которые в значительной степени подрывают миф, имеющий хождение в учебной литературе, согласно которому любая релятивистская теория переходит в какую-либо одну содержательную классическую теорию, когда $c \rightarrow \infty$ (или точнее для $v \ll c$). Кроме того, получающиеся в результате нерелятивистские приближения могут сохранять некоторые типично релятивистские члены, так что эти приближения оказывается невозможным полностью и во всех деталях согласовать с соответствующей классической теорией. Мы видели это на примере перехода от общей теории относительности к классической теории гравитации. Подобный же случай предоставляет нам специальная теория относительности. При малых скоростях приближенное выражение общей энергии частицы сводится к энергии покоя $m_0 c^2$, а не исчезает, как это должно было быть, если бы динамика специальной теории относительности действительно согласовалась с классической динамикой малых скоростей. Кроме того, более слабая теория может иметь черты, вообще не свойственные более строгой теории. Так, законы симметрии (и соответствующие уравнения сохранения), характеризующие специальную теорию относительности, не имеют аналогов в общей теории относительности, ибо римановы пространства лишены универсальных симметрий. Иными словами, более слабые теории могут и не быть включенными в более сильные, хотя они и имеют непустое пересечение, что необходимо просто для того, чтобы само понятие силы теории имело какой-то смысл.

В таких случаях мы фактически имеем дело не просто с двумя теориями: классической теорией C и революционной R , а плюс еще с некоторым множеством NR — нереволюционных «предельных случаев» революционных теорий R , где R ставится вместо «релятивистских», «квантовомеханических» или возможных других теорий. Отношения между этими тремя теориями, рассматриваемыми как множества формул, будут, видимо, следующими:

$$[3] NR \subset R \text{ и } NR - C \neq \emptyset.$$

Но и эти очень скромные, хотя и весьма правдоподобные метатеоремы пока еще не доказаны ни для одного случая. И все же в отличие от некорректных формул [1] и [2] такие выражения имеют смысл и могут быть разумно обоснованы, но только после того, как рассматриваемые теории будут аксиоматизированы.

2.4. Классический предел квантовой теории: мало что известно

Еще более сложная ситуация с квантовой теорией. Ее можно сопоставлять с классической теорией одним из следующих способов: (а) квантотеоретические собственные значения сравнить с возможными классическими значениями, (б) квантотеоретические средние — с возможными классическими значениями, (с) квантотеоретические операторы — с классическими динамическими переменными. Первые два сравнения не так-то легко провести, как это обычно полагают. Начнем с того, какую классическую теорию нужно брать: классическую механику материальной точки, классическую механику сплошных сред, классическую электродинамику или что-нибудь еще? Какие предельные случаи следует брать? Следует ли приравнивать нулю постоянную Планка и в таком случае утратить спин, который не обладает классическим аналогом? Или же рассматривать случай очень больших масс, которые не имеют никакого смысла для микросистемы? Или, наконец, следует взять приближение больших квантовых чисел, которое имеет смысл только для связанных состояний (дискретные спектры)? Что касается самих динамических переменных, то здесь имеются лишь некоторые аналогии, плодотворные

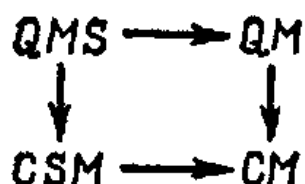
в эвристическом и удобные в психологическом отношении, но не более того. Короче говоря, сравнение квантовых и классических теорий совсем не простое дело.

Одна из трудностей данного сравнения состоит в том, что бесконечномерное гильбертово пространство, в котором описываются состояния системы, не имеет классического предела. В этом отношении квантовая механика является гораздо более новой, чем любая другая неклассическая теория. Только фаза вектора состояния системы выглядит классическим образом в том смысле, что уравнение ее эволюции аналогично классическому уравнению Гамильтона — Якоби. Но в этом случае оно не имеет отношения к механической системе. Если основное внимание сосредоточить на векторе состояния, а не на операторах, то мы будем склонны интерпретировать квантовую механику как теорию поля. Если же перенести акцент на динамические переменные, то квантовую механику можно интерпретировать как своеобразную теорию необычных частиц. Ясно, однако, что здесь мы имеем дело лишь с частичными классическими аналогами. В целом же не удастся найти для квантовой теории какой-либо классический аналог.

Помимо всего прочего, квантовая механика создавалась для решения неоднородных проблем. Квантовая механика вовсе не предназначается для ответов на вопросы классической кинематики, такие, как вопрос о траектории электрона, проходящего через систему щелей. Перед создателями квантовой механики стояла несколько иная задача, а именно объяснить факт самого существования атомов, а также их структуры и спектры. Остальное же — частности динамики, молекулярная теория и теория атомного ядра — пришло в качестве дополнительной награды. Как видим, основоположники квантовой механики ставили перед собой цель построить радикально новую теорию, а не расширять здание механики — науки о движении. Новая теория была названа *механикой*, скорее всего, в результате ошибочной уверенности в том, (а) что любая теория, основанная на гамильтоновом формализме, будет механической и (б) что любая фундаментальная теория должна быть разновидностью механики, а не, скажем, теории поля. И все же основатели квантовой механики часто вели дискуссии, обращаясь к мысленным экспериментам, в которых пред-

полагалось движение «частиц» через систему щелей. И нет ничего удивительного в том, что такие дискуссии оказались бесплодными.

Тем не менее часто утверждают, что общая схема редукции квантовой теории материи — фундаментальной квантовой механики QM и квантовой статистики QMS — может быть представлена в следующем виде:



где CSM и CM обозначают соответственно классическую статистическую механику и классическую механику. (Некоторые утверждения и диаграммы, подобные приводимой выше, можно найти в работах Л. Тиссы¹ и М. Штрауса².) К сожалению, ни один из них, видимо, не смог доказать, что такие отношения уже получены. Начнем с того, что у нас нет строгого доказательства редукции классической статистической механики к классической механике (см., однако, § 2.6, где говорится об одной попытке в этом направлении). Не существует также доказательства, что квантовая механика переходит в классическую механику. Есть лишь доказательства, касающиеся немногих изолированных утверждений, таких, как, например, теорема Эренфеста. Но систематического доказательства для теории в целом не существует. Более того, хотя квантовая механика обычно сравнивается с классической механикой *материальной точки* (в наше время, пожалуй, только инженеры хорошо знакомы с механикой в целом), представляется очевидным, что ее следовало бы сопоставлять, скорее, с механикой *сплошных сред* как с точки зрения граничных условий, так и потому, что в релятивистских квантовых теориях может быть определен тензор напряжений. Далее, в отличие от квантовых теорий поля и классической механики квантовая механика предполагает и использует классическую электродинамику Максвелла. Следовательно, она

¹ L. Tisza, *Reviews of Modern Physics*, 1963, vol. 35, p. 196.

² M. Strauss, in: P. Weingartner and G. Zecha (eds.), *Induction, Physics and Ethics*; D. Reidel, Dordrecht, 1970.

не может перейти в классическую механику в любом из «классических предельных случаев», обсуждавшихся выше, если при этом не будут наложены дополнительные ограничения на существование нулевых полей, иначе нам просто не удастся объяснить сам факт наличия классических тел. Наконец, можно утверждать, что сама квантовая механика является предельным случаем классической механики, дополненной определенными стохастическими предположениями, например, относительно случайных сил, воздействующих на систему со стороны ее окружения¹. Итак, об отношениях между квантовой и классической механикой мы знаем очень мало. И изображать дело так, как если бы мы действительно эти отношения понимали, означало бы впасть в ошибку, что в свою очередь лишь затруднило бы сколько-нибудь серьезное исследование проблемы.

2.5. Отношение: стохастические законы — детерминизм

В целом, при прочих одинаковых условиях, если все остальные параметры равны, стохастическая теория является логически более строгой, чем соответствующая нестохастическая теория или теории: $NS \subset S$. Нестохастический «предельный случай» или «предельные случаи» любой стохастической теории могут быть получены в принципе любым из следующих неэквивалентных способов. Согласно первому из них, все вероятности, встречающиеся в данной стохастической теории, приравниваются либо 0, либо 1. Второй путь состоит в переходе от распределений вероятностей величин к их средним значениям. Третий же метод заключается в замене всех случайных величин неслучайными. Например, можно подставить:

$$[4] \quad \frac{dX}{dt} = kX \quad \text{или} \quad X_{i+1} - X_i = kX_i$$

вместо вероятностных формул

$$[5] \quad \frac{dp}{dt} = kp \quad \text{или} \quad p_{i+1} - p_i = kp_i.$$

¹ L. de la Peña-Auerbach, Journal of Mathematical Physics, 1969, vol. 10, p. 1620—1630.

Конечно, нет никакой гарантии, что какой-либо из этих методов приведет к разумному результату, то есть к более слабой теории, которая будет работать по крайней мере в первом приближении. В частности, для того чтобы сработал второй метод, средние значения должны быть реально стабильными или почти таковыми. В этом случае более слабая теория получается без изменения основных понятий, тогда как два остальных рецепта предполагают изменения самой сущности некоторых из основных понятий. В этих случаях мы в конечном счете получаем не специализацию данной стохастической теории, а радикально новые теории. Отсюда следует, что они, по всей видимости, будут намного более полезными, чем первый метод.

Случай якобы успешной редукции термодинамики к статистической механике заслуживает специального параграфа.

2.6. Редукция термодинамики. Программа, а не факт

Излюбленным примером редукции, характерным для многих учебников, является, конечно, редукция термодинамики к статистической механике. Ее обычно выполняют или, точнее, пытаются выполнить путем дополнения основных уравнений классической механики (материальной) *точки* (относительно которой ошибочно предполагают, что она объясняет поведение атомов и молекул) стохастическими гипотезами о хаотических начальных условиях или, вернее, гипотезой о том, что точное их задание несущественно. Было бы удивительно, если бы этот трюк сработал в общем случае, ибо известно, что атомы и молекулы не являются бесструктурными точечными массами, а есть чрезвычайно сложные квантовомеханические системы, управляемые полями, которые представляют собой немеханические сущности.

В общем случае этот трюк действительно не проходит. В самом деле, только кинетическая теория, которая обходится без второго закона термодинамики, и некоторые термодинамические формулы были получены таким образом. Термодинамику же как целое, и в частности второй закон термодинамики, который является ее наи-

более отличительным свойством, не удалось свести к механике материальной точки, так же, как, впрочем, и к динамике жидкостей и газов, или к механике деформируемых тел, или к какой-либо еще области физики сплошных тел. Редукция термодинамики есть программа, а не свершившийся факт.

Более того, среди специалистов нет общего мнения по поводу того, как можно было бы выполнить успешную редукцию термодинамики в общем случае, а не только для газов в очень узком диапазоне температуры и давления. Одна из возможных линий атаки связана с попыткой получить термодинамику из классической механики, не прибегая к каким-либо вспомогательным стохастическим гипотезам на основе доказательства того, что эти гипотезы излишни, поскольку содержатся в основных механических законах движения. Таким является тезис Града¹. В частности, Град утверждает, что не следует вводить случайные возмущения, идущие от внешнего мира, чтобы объяснить необратимость, — путь, предлагаемый Блаттом, Кацем и другими. Добавление вспомогательных гипотез (обычно стохастических), таких, как гипотезы о молекулярном хаосе и о том, что априорная вероятность пропорциональна объему в фазовом пространстве, рассматривается Градом как удобная и, возможно, неизбежная при современном состоянии дел процедура, которую в принципе можно избежать, ибо случайность рождается из взаимодействий многочисленных сущностей разного рода, а не вводится со стороны. Трудности доказательства того, что это именно так, то есть что законы движения достаточны для воспроизведения всех стохастических свойств, были бы тогда чисто техническими и свелись бы к трудностям работы с большими системами дифференциальных уравнений, определенные свойства которых аппроксимируют случайное поведение. Если Град прав, то сведение (некоторых глав) термодинамики к механике будет гомогенным, а не гетерогенным (см. § 1.2).

Можно указать на две причины, по которым программа Града кажется разумной. Во-первых, чисто техническая, а именно неудовлетворенность способами,

¹ См.: H. Grad, in: M. Bunge (ed.), Delaware Seminar in the Foundations of Physics, Springer-Verlag, New York, 1967.

с помощью которых вводится большинство стохастических предположений, и весьма далекая от строгости математика, лежащая в основе большинства аппроксимаций. Вторая причина представляется, скорее, философской. Достигнутая пока редукция (частичная и даже спорная) является редукцией гетерогенного вида, но если механику рассматривать в качестве основной теории, то редукция должна быть гомогенной, то есть она должна представлять собой прямую дедукцию.

Во всяком случае, Град уже получил некоторые обнадеживающие результаты, но мы пока воздержимся от окончательных суждений по поводу его работы, ожидая дальнейшего развития его подхода к проблеме редукции. Однако несомненно одно: поскольку элементарные составляющие твердого тела или жидкости ведут себя не классически, а квантовомеханически, то ни твердое тело, ни жидкость не могут быть объяснены с помощью классических частиц, твердых шариков и других классических моделей. Нам нужно заняться поисками метода выведения механики сплошных сред и термодинамики из квантовой механики. Мы говорим здесь о программе исследований, которую только еще предстоит выполнить, хотя многие физики и философы ошибочно полагают, что это уже сделано.

2.7. Неутешительное заключение

Заключение нашего краткого обзора интуитивного, или асимптотического, подхода к проблеме отношений между теориями будет разочаровывающим. Асимптотическое отношение строго не проанализировано, а между тем оно оказывается гораздо более сложным, чем это обычно предполагается, и, что гораздо хуже, оно отнюдь не установлено как раз в тех случаях, когда с точки зрения популярной литературы все обстоит наилучшим образом. Прекрасные редукционные диаграммы, которые можно встретить в научной и метанаучной литературе, в значительной степени обманчивы и вводят в заблуждение, поскольку серьезно они никем не анализировались. Обратимся теперь к другим, более изученным видам интертеоретических отношений.

3. Формальные отношения между теориями

3.1. Возможные формальные отношения

Если смотреть с чисто формальной (логико-математической) точки зрения, то две сопоставимые теории могут находиться в следующих отношениях: (i) изоморфизм, или с более общей точки зрения гомоморфизм; (ii) логическая (но не обязательно семантическая) эквивалентность, (iii) включение и (iv) частичное перекрывание. (Если перекрывание является пустым, то теории несопоставимы.) Для того чтобы обнаружить, какая из этих ситуаций имеет место, рассматриваемые теории должны быть аксиоматизированы, ибо в противном случае не известно точно, что сравнивается.

Теперь первое, что надо сделать, — это выявить первичный базис или множество основных (неопределяемых) понятий теории. Если принимать во внимание элементарные теории, или теории первого порядка, которых в фактуальной науке недостаточно, то исходный базис любой фактуальной теории T , выражаемый на языке теории множеств, состоит из упорядоченной n -ки следующих понятий: множества Σ и $n - 1$ основных специфических и взаимонезависимых (взаимно неопределяемых) предикатов P_i . Множество Σ , которое иногда представляет собой топологическое произведение двух или более множеств, представляет собой класс референтов теории T , то есть совокупность систем, относительно которых предполагается, что они описываются теорией T . И m -местный предикат P_i^m , который обозначает m -е свойства членов Σ . Точнее говоря, если $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_m$ содержатся в Σ , то $P_i^m(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_m)$ либо справедлива, либо несправедлива для T , а если так и если теория T фактуально истинна, то и формула сохраняет справедливость для самих вещей. (Эта характеристика оснований фактуальной теории наивна, так как включает понятие полной истины. Но ее распространение на случай частичной истины, который является более реалистичным, мы здесь рассматривать не будем.)

Таким образом, если даны две теории, T_1 и T_2 , их систематическое сравнение начинается с сопоставления их первичных базисов

$$[6] \quad B(T_1) = \langle \Sigma_1, P_1 \rangle \quad \text{и} \quad B(T_2) = \langle \Sigma_2, P_2 \rangle,$$

где P обозначает теперь целые связки (фактически — последовательности) предикатов.

3.2. Изоморфизм и гомоморфизм

Две теории изоморфны (гомоморфны), если существует взаимно-однозначное (много-однозначное) соответствие между классами их референтов и множествами предикатов, такое, что структура этих основных понятий сохраняется. То есть множества должны быть поставлены в соответствие множествам, одноместные предикаты — одноместным и т. д. Точная природа такого соответствия зависит от структуры основных предикатов, так что нельзя дать какого-либо общего определения изоморфизма (или гомоморфизма), то есть нельзя дать такого определения, которое удовлетворяло бы любой возможной фактуальной теории. А каждое специальное определение требует предварительной аксиоматизации теории, так как в противном случае ее первичные понятия не будут индивидуализированы. (Точная форма аксиом не имеет значения для цели доказательства изоморфизма или гомоморфизма. Существенным является лишь то, что задается первичный базис и обрисовывается основная структура его компонент в целом.)

В физической литературе известен только один случай, когда утверждали наличие изоморфизма между двумя теориями. Это изоморфизм волновой механики (или шредингеровской «картины» квантовой механики) и матричной механики (или гейзенберговской «картины» квантовой механики). Однако существующее доказательство изоморфизма отнюдь не является строгим, поскольку для этого с самого начала требуется представить рассматриваемые теории в аксиоматической форме, а затем ввести *ad hoc* какое-либо определение изоморфизма теорий. Но ни одно из этих условий не было выполнено, когда указанный результат был получен сорок лет назад. Поэтому доказательство его было скорее

эвристическим, нежели формальным. Помимо всего, существует подозрение, высказанное недавно Дираком, что эти две теории все же не эквивалентны. Это подозрение, если оно верное, следовало бы рассматривать как предупреждение об опасности дилетантского подхода к решению проблем оснований науки.

3.3. Эквивалентность

Две теории с различными первичными базисами и, кроме того, несомненно, гетероморфные, тем не менее могут иметь общее для них множество формул. Примером этого служат динамики Гамильтона и Лагранжа. Хотя структура их отличается из-за различия первичных базисов, их формулы могут быть взаимопереводимы, если только мы имеем для этого подходящее правило перевода (например, $H = p\dot{q} - L$). Иными словами, с точки зрения множества формул эти теории одинаковы. Конечно, это справедливо и для любых двух различных формулировок или представлений одной и той же теории: хотя, возможно, они и гетероморфны, но логически будут эквивалентны.

3.4. Включение или формальная редукция

Теория T_2 представляет собой субтеорию теории T_1 (эквивалентно: T_1 является некоторым продолжением (extension) T_2), если (а) T_2 есть теория, то есть множество формул, дедуктивно замкнутое, каковым будет не всякое подмножество теории T_1 и (б) все формулы теории T_2 имеются также и в теории T_1 , но не наоборот. Это можно выразить и иначе. Пусть $T_1 + T_2$ будет объединением теорий T_1 и T_2 в смысле Тарского¹. То есть $T_1 + T_2$ есть множество логических следствий объединения теорий T_1 и T_2 . В таком случае, мы можем сказать, что

[7] T_2 есть субтеория теории $T_1 =_{df} T_1 + T_2 = T_1$,

то есть T_2 ничего не добавляет к T_1 . Иными словами, теория T_2 есть некоторое множество, включенное в

¹ А. Тарский, *Logic, Semantics, Metamathematics*, Clarendon Press, Oxford, 1956.

теорию T_1 . Таким образом, теория T_1 влечет за собой теорию T_2 без каких-либо дополнительных гипотез. Как видим, гомогенная редукция в смысле Нагеля (см. § 1.2) совпадает с включением.

Ни одно из приведенных выше определений включения теорий не дает, однако, эффективного критерия для распознавания включения теорий в общем случае, ибо все эти определения имеют дело с бесконечными множествами формул. Поэтому мы вынуждены обратиться к первичным базисам теорий, которые представляют конечные множества. На самом деле они являются упорядоченными n -кратными произведениями множеств (см. § 3.1). Несколько упрощая, можно сказать, что T_2 будет субтеорией T_1 , если, и только если (i), первичный базис теории T_2 содержится в первичном базисе теории T_1 и (ii) каждая аксиома теории T_2 является справедливой как формула теории T_1 . Более точно, T_2 называется *субтеорией* T_1 только в случае (i), когда $V(T_2) \subseteq V(T_1)$ (см. формулу [6]) и (ii) когда для каждого основного предиката P_i^m в теории T_2 ; если $P_i^m(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_m)$ справедливо в T_2 , то оно справедливо и в T_1 .

В общем случае две системы отношений, $V(T_1)$ и $V(T_2)$, не будут подобными в смысле Тарского¹. Следовательно, мы не получили необходимого условия того, что одна из них является подсистемой другой, даже если выполнено отношение субтеории и теории в нашем смысле. То есть для того, чтобы теория T_2 была субтеорией T_1 , достаточно, но не необходимо, чтобы $V(T_2)$ было подсистемой $V(T_1)$.

3.5. Устойчивость, ограничение и новые конструкты

Существуют три возможных типа отношений некоторого конструкта (понятия или высказывания) к различным продолжениям данной теории.

(а) *Устойчивость*: конструкт, присутствующий в слабой теории, принадлежит также и любому ее продолжению². Пример: понятие скорости в классической меха-

¹ A. Tarski, *Logic, Semantics, Metamathematics*, Clarendon Press, Oxford, 1956.

² A. Robinson, *Complete Theories*, North-Holland, Amsterdam, 1956.

нике и в некантовых ее продолжениях. (Как мы видели в § 2.4, кантовая механика не может рассматриваться как продолжение классической механики.)

(b) *Расширение*: при переходе от одной теории к другой конструкт расширяется. Если это функция, то она определяется на большей области или ей приписывается более широкое множество значений. Если это утверждение, то увеличивается класс его подразумеваемых референтов. Пример: понятие массы в релятивистской механике по сравнению с понятием массы в классической механике.

(c) *Появление* (emergence): конструкт вводится вновь в одно из продолжений слабой теории, причем таким образом, что в последней он не имеет аналога. Пример: понятие поля возникает вновь по отношению к классической механике.

Отсюда следует, что, для того чтобы получить субтеорию любой данной теории, можно попробовать сделать следующее:

(a) *Ограничить* одну или более первоначальных (original) функций более узкой областью. Например, заменить непрерывное множество, представляющее тело, совокупностью изолированных точек, а функции плотности — на соответствующие дельта-функции.

(b) *Опустить* некоторые первичные понятия и вычеркнуть аксиомы, в которых они встречаются. Например, опустить тензор напряжений (а не приравнять его нулю) в качестве первого шага в переходе от механики сплошных сред к механике материальной точки.

Однако этот рецепт не годится в поисках продолжения данной теории. Все, что мы сможем в этой связи сделать, — это систематизировать эвристические правила релятивизации некантовых теорий и квантования нерелятивистских, которые иногда работают, а иногда и нет. Но эти нас здесь не интересуют. Перейдем к рассмотрению неформальных интертеоретических отношений.

4. Семантические отношения между теориями

4.1. Отношения предположения

Любая научная теория «основывается» на некоторых других теориях, как формальных (логических и математических), так и неформальных. Например, геометриче-

ская оптика основывается на евклидовой геометрии (так же, как и на других теориях) в том смысле, что она использует ее без всяких ограничений. Фактически она содержит евклидову геометрию в целом. Сказать, что теория *A* основывается на другой теории, *B*, означает, что *A* предполагает *B*, то есть что теория *B* принадлежит к предпосылкам теории *A*. Более точно можно сказать, что некоторая теория *A* предполагает другую теорию, *B*, лишь в том случае, если выполняются следующие условия¹:

(i) теория *B* является необходимым условием для придания определенного значения или правдоподобия теории *A*, потому что *A* содержит понятия, которые проясняются в теории *B*, или утверждения, которые подтверждаются в теории *B*, и

(ii) теория *B* не подвергается сомнению, в то время как теория *A* строится, разрабатывается, критикуется, испытывается или применяется, то есть теория *B* принимается за доказанную *pro tempore* (временно), во всяком случае до тех пор, пока рассматривается теория *A*.

Отношение предполагания имеет следующие три стороны: логический и семантический аспекты (оба принимаются во внимание упомянутым выше условием (i)) и методологическую сторону. Последнюю понять легче всего. Никогда не следует спрашивать обо всем сразу, вопросы надо задавать последовательно, шаг за шагом. Что же касается логического и семантического аспектов отношения предполагания, то их необходимо рассматривать после аксиоматизации теории *A*, ибо нулевой шаг в этом процессе реорганизации и упорядочения представляет собой по сути дела выявление предпосылок теории *A*, к которым и относится теория *B*. Если бы это делалось более часто, то научные теории понимались бы гораздо лучше. Так, только когда релятивистская кинематика задается в аксиоматической формулировке, ясно осознают, что электромагнетизм Максвелла предшествует ей, ибо без этой предпосылки кинематика специальной теории относительности не является истинной и вообще не имеет смысла². Если бы эти факты, касающиеся отношений между теориями, были лучше известны, мы бы не были затоплены книгами по теории относительности, которые

¹ M. Bunge, *Scientific Research*, 1967.

² M. Bunge, *Reviews of Modern Physics*, 1967, vol. 39, p. 463.

начинают излагать свой предмет либо с классической механики, либо с преобразований Лоренца, а не с уравнений Максвелла.

4.2. Предположение и предшествование

Рассмотренное выше понятие предположения теории связано с более слабым понятием *предшествования теории*, кратко обрисованного Чёрчем¹. Так, логика предшествует математике в слабом смысле, поскольку она задает лингвистические рамки для математических рассуждений и контролирует математические выводы. Однако — *расе* (с разрешения) логицизма — логика не предшествует математике в *сильном* смысле, то есть ее недостаточно для построения математики. В самом деле, каждая, даже беднейшая математическая теория (например, теория частичного упорядочивания) имеет по крайней мере один экстралогический предикат. С другой стороны, теория множеств пока что предшествует в *сильном* смысле, почти всем остальным разделам математики, так как она снабжает их специфическими базисными кирпичами (например, понятием множества, упорядоченной n -ки и функции), используемыми при построении почти каждой математической теории. (До зарождения теории категорий можно было утверждать, что математика в целом сводима к теории множеств.)

Отметим, что семантическое понятие предположения (*presupposition*) не совпадает с прагматическим или психологическим понятием предшествования (*priority*). Так, с семантической точки зрения математика предполагает логику, но математика обычно приходит раньше логики как исторически, так и методологически в том смысле, что она стимулирует создание большинства современных логик и обеспечивает главный контроль и основное подтверждение логических исследований. Весьма часто семантическое отношение предположения ориентировано противоположно прагматическому или историческому направлению. Так, хотя механика материальной точки появилась до механики сплошных сред, последняя не предполагает первую, но, скорее, как раз наоборот.

¹ A. Church, in: E. Nagel, P. Suppes and A. Tarski (eds.), *Logic, Methodology and Philosophy of Science*, Stanford University Press, 1962.

Отметим также, что понятие предположения следует отличать от понятия следования (entailment), будь то следование синтаксическое (\vdash) или следование семантическое (\models). Если теория A выводима из теории B , то, очевидно, A предполагает B в нашем смысле, ибо B является предположением, при котором теория A имеет силу. Обратное утверждение не обязательно справедливо. Теория A может и не следовать только из одной теории B , составляющей ее предпосылку, и на самом деле в общем случае так и бывает. Например, теория множеств, которая предполагает логику, не вытекает из последней. Подобным же образом механика не следует только из одной математики, а релятивистская кинематика требует своих собственных постулатов в дополнение к постулатам классической теории электромагнетизма.

4.3. Распознавание отношения предположения

Предполагает ли данная теория другую, лучше всего может быть выявлено путем аксиоматизации по крайней мере первой из них. В противном случае семантическая зависимость одной теории от другой может быть нами упущена. Так, часто утверждается, что теория матрицы рассеяния независима от квантовой механики и, более того, должна заменить последнюю. Но даже если фактическое вычисление матрицы рассеяния $S_l(k) = \exp[i2\delta_l(k)]$ можно было бы всегда проделать без помощи квантовой механики (чего на самом деле нет), то последняя все равно была бы нужна для интерпретации различных математических особенностей S -матрицы как физических свойств рассматриваемых систем или процессов. Возьмем, например, наиболее очевидное математическое свойство S -матрицы — ее аналитичность (как функции импульса k) в верхней плоскости, за исключением направления вдоль мнимой оси. Для того чтобы понять смысл плюсов S -матрицы, исследуют асимптотическое решение уравнения Шредингера (ядро квантовой механики) для случая рассеяния полем центральных сил конечного радиуса действия, то есть

$$\begin{aligned}
 u \xrightarrow{r \rightarrow \infty} & (A/r) \sin\left(kr + \delta_l + l \frac{\pi}{2}\right) = \\
 & = (B/r) \left[e^{-ikr} e^{-il\pi/2} - S_l(k) e^{ikr} e^{il\pi/2} \right].
 \end{aligned}$$

Для $k = ik$, с $\kappa > 0$, $u \rightarrow e^{-\kappa r}/r$ это решение, согласно квантовой механике, относится к связанному состоянию в точке ik . Но поскольку это состояние двухкомпонентной системы, мы имеем еще и дополнительную интерпретацию. Полюс амплитуды рассеяния соответствует составной системе («частице»), так что в целом S -матрица может рассматриваться как некоторая модель (модельный объект) составной системы. Мы получили этот вывод с помощью ранее существовавшей теории — квантовой механики, которая, следовательно, действовала как *носитель значения* (meaning supplier)¹. Если бы S -матрица имела свое собственное содержание, то есть была бы самодостаточной, а не зависимой от теории Шредингера, то это семантическое отношение предположения следовало бы рассматривать как исторически случайное. Но поскольку пока еще нет удовлетворительной независимой аксиоматизации теории матрицы рассеяния, постольку ее нельзя считать и независимой от квантовой теории. Поэтому перед тем, как утверждать что-либо относительно семантической зависимости или не зависимости одной теории от другой, лучше сначала заняться аксиоматизацией хотя бы одной из них.

4.4. Изменение значения: тезисы Куна и Фейерабенда

Даже если формулы какой-то теории сводимы к большинству или даже ко всем формулам другой теории и если обе они имеют один и тот же класс референтов, то есть говорят об одной и той же вещи, эти теории все-таки могут не иметь точно одинаковых значений, ибо если две теории отличны друг от друга, то они будут говорить разное о своих референтах. Так, динамика Эйнштейна и динамика Ньютона согласуются в большинстве (но не во всех) своих утверждений для малых скоростей, однако термины, используемые в них, не всегда имеют одно и то же значение. И это изменение значения нельзя компенсировать, потому что оно коренится в различиях структур этих теорий. В то время как расстояния в теории относительности зависят от системы отсчета, в

¹ M. Bunge, *The Critical Approach*, Free Press, Glencoe, Ill, 1964.

классической механике они от систем отсчета не зависят. Поэтому Кун¹ совершенно прав, указывая на то, что законы динамики Ньютона *невыводимы* из динамики Эйнштейна. То есть это вопрос не просто количественного согласия в нерелятивистском предельном случае, а проблема смещения концептуальной сетки. К сожалению, Кун излагает свой тезис ошибочно, утверждая, что «физические референты» эйнштейновских законов отличаются от ньютоновских референтов, так что, пытаясь реконструировать последние из первых, «мы должны изменить фундаментальные структурные элементы вселенной, из которых она образована»². Но это означало бы, что обе эти теории говорят о совсем разных вещах. Однако в такой форме это утверждение неверно, ибо обе указанные теории имеют отношение к материальным точкам. Тезис Куна становится правильным, если его переформулировать следующим образом. В научной революции изменяется как форма, так и содержание некоторых понятий. Иногда концептуальные изменения соответствуют изменению в референте (например, замена континуальных теорий вещества атомистическими теориями), в иных случаях референт сохраняется (хотя и не теоретическая модель его), но значение все-таки изменяется (что, между прочим, подкрепляет тезис, согласно которому объем некоторого конструкта является только одной из двух компонент его значения, другой — будет его содержание).

Хорошо известный тезис Фейерабенда об изменении значения³ более радикален, но и более уязвим, нежели тезис Куна. «То, что происходит, когда мы переходим от ограниченной теории T_2 к более широкой теории T_1 (которая способна охватить все явления, охватываемые теорией T_2), оказывается чем-то гораздо более радикальным, нежели просто введением *неизменной* теории T_2 в более широкий контекст теории T_1 . То, что происходит, представляет собой, скорее, *полную замену* онтологии теории T_2 онтологией теории T_1 и соответствующие изменения в значениях всех дескриптивных терминов теории T_2 (при условии, что эти термины еще используются)».

¹ S. Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions*, University of Chicago Press, 1962.

² Там же, стр. 110.

³ P. K. Feysabend, in: H. Feigl and G. Maxwell (eds.), *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, vol. III, 1962.

Данный тезис содержит зерно истины, но в том виде, как он сформулирован, он выглядит наполовину сырым или даже противоречивым. Он полусырой потому, что в нем есть два ключевых понятия, которые не разъяснены его автором. Одно — это понятие сферы охвата теории (которое может быть эксплицировано)¹, а второе — понятие значения (и связанное с ним понятие онтологии теории), которое также может быть разъяснено (см. следующий подпараграф). Жаль, что такой революционный тезис был сформулирован с характерной для традиционной философии небрежностью.

Больше того, если принимать его буквально, то тезис Фейерабенда оказывается *внутренне противоречивым*, ибо одна теория не может считаться шире другой и одновременно быть несоизмеримой с ней с точки зрения значения. В самом деле, если изменения в семантике («онтология») были бы столь полными, как это утверждает Фейерабенд, то тогда, конечно, нельзя было бы сравнивать сферы охвата обеих теорий. Они бы просто говорили о разных вещах. Следовательно, мы были бы не в состоянии установить, какая из них шире. Тем не менее, как я уже ранее говорил, в тезисе Фейерабенда есть зерно истины, а именно: прогресс науки несет с собой изменение значений. Но эти изменения, хотя иногда и радикальные, не всегда все же будут радикальными в такой степени, как это считает Фейерабенд. Излюбленный пример Фейерабенда свидетельствует здесь против него самого.

Действительно, когда Фейерабенд заявляет, что «невозможно дать точные определения классических понятий в релятивистских терминах»², то, очевидно, он не принимает во внимание элементарное понятие сужения функции, с помощью которого часто можно проделать данный трюк. Например, релятивистское понятие массы M_R , которое можно ввести посредством определенных постулатов, позволяет определить классическое понятие массы M_C именно таким образом,

$$[8] \quad M_C =_{df} M_R | B \times U_M, \quad \text{где} \quad M_R | B \times K \times U_M \rightarrow R^+.$$

¹ M. Bunge, *Scientific Research*, 1967.

² См.: P. K. Feyerabend, in: *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, vol. III, 1962, p. 80.

Здесь $M_R|B \times U_M$ обозначает сужение отображения M_R на множество $B \times U_M$, тогда как областью определения революционного понятия M_R будет множество упорядоченных троек $\langle b, k, u \rangle$, где b принадлежит множеству тел B , k — множеству физических систем отсчета K , а u есть член множества единичных масс U_M . Подобным же образом дело обстоит с другими понятиями, которые релятивизируются относительно систем отсчета и тем самым становятся объединенными свойствами физических систем и систем отсчета.

В заключение необходимо подчеркнуть, что научные революции не столь дикие, как «культурные революции», и тезис об изменении значений в результате научных революций является достаточно важным, чтобы быть достойным тщательного философского исследования. (Дальнейшие критические замечания см. в работах Коффа¹ и Нагеля².) К этой задаче мы сейчас и перейдем.

4.5. Разъяснение понятия изменения значения

Для того чтобы прояснить понятие изменения значения, связанного со сменой теорий, мы должны начать с разъяснения самого понятия значения. Возможная экспликация последнего предлагается в следующем определении, которое включает в себе (encapsulates) то, что я называю синтетической точкой зрения на значение, ибо в ней сочетаются интенционализм и экстенционализм.

Пусть c будет некоторым понятием, высказыванием или теорией. Мы определяем значение c как его смысл или то, что подразумевается в нем совместно с его классом референтов (reference) или денотатом³. Одним словом,

$$M(c) =_{df} \langle S(c), R(c) \rangle,$$

¹ J. A. Coffa, *Journal for Philosophy*, 1967, vol. 64, p. 500.

² E. Nagel, in: E. Kiefer and M. Munitz (eds.), *Contemporary Philosophic Thought*, vol. 2, State University of New York Press, Albany, N. Y., 1970.

³ M. Bunge, *Exact Philosophy: Problems, Methods, Goals*, D. Reidel Publ. Co., Dordrecht, 1972.

где смысл $S(c)$ равносильно множеству формул, содержащих c или вытекающих из c , тогда как класс референтов $R(c)$ есть совокупность объектов, на которые ссылается c , совершенно независимо от того, правильно он ссылается на них или нет. Множество конструктов, содержащих c , может быть названо его *смыслом* (import), собрание же конструктов, содержащихся в c — его *подразумеваемым значением* (import). Чем шире подразумеваемое значение конструкта, то есть чем меньше его зависимость от других конструктов, тем больше его значимость. Первичные конструкты имеют наиболее широкое подразумеваемое значение.

Коль скоро у нас есть понятие значения, то имеет смысл провести разъяснение понятия изменения значения, связанного с заменой некоторого конструкта c другим конструктом c' . Мы определяем *изменение значения*, сопровождающее такую замену, как упорядоченную пару:

$$\delta_M(c, c') =_{df} \langle \delta_S(c, c'), \delta_R(c, c') \rangle,$$

где первая координата есть *изменение смысла*

$$\delta_S(c, c') =_{df} S(c) \Delta S(c'),$$

а вторая координата — *изменение в классе референтов*

$$\delta_R(c, c') =_{df} R(c) \Delta R(c'),$$

и где треугольник обозначает операцию симметричной разности, определяемую в теории множеств.

Пусть, далее, T будет теорией, заменяемой теорией T' . Тогда «чистое» изменение значения будет лишь в тех случаях, когда T является субтеорией T' (в смысле 3.4), когда T и T' частично перекрываются или, напротив, не пересекаются.

Однако последний случай столь же неинтересен, как и другая крайность, а именно когда T и T' представляют собой эквивалентные формулировки (см. § 3.3) одной и той же теории. Поскольку в случае любой пары теорий T, T' нам приходится иметь дело с бесконечными множествами утверждений, то, видимо, изменение значения трудно или даже невозможно точно контролировать. Эту трудность можно было бы обойти, ограничившись аксиоматическими базами теорий T и T' . Поэтому вышеприведенные формулы можно

рассматривать соответственно как описывающие множества постулатов теорий T и T' . Но, конечно, такой подход не встретит одобрения у поклонников неопределенности, для которых аксиоматизация несет с собой реальную угрозу.

5. Прагматические отношения между теориями

5.1. Эвристические отношения

Прагматические отношения между научными теориями весьма многообразны. Иногда их можно предусмотреть, но гораздо чаще они проявляются неожиданно. Основные виды этих отношений будут, видимо, следующие: (а) *эвристические отношения*: одна теория наводит на мысль о другой теории или помогает построить ее; (б) *методологические отношения первого рода*: одна теория является инструментом, с помощью которого изобретаются эмпирические проверки другой теории; (в) *методологические отношения второго рода*: одна теория (устоявшаяся, «авторитетная») рассматривается как условие, которому другая теория (новая) должна удовлетворять, обычно в некотором «предельном случае».

Способы, которыми одна теория может навести на мысль о строении другой, многочисленны и не поддаются строгой классификации, ибо зависят не только от теорий самих по себе, но также и от направленности мышления теоретика. Один может искать вдохновения в математике, другой будет строить чисто формальные обобщения, тогда как третий попытается переинтерпретировать уже имеющуюся научную теорию, а четвертый увлечется аналогиями, которых остальным не удалось «увидеть». Однако несколько самых общих замечаний все же необходимо сделать. Перечислим их по порядку:

Во-первых, эвристические отношения в некотором смысле часто обратны логическим. Так, хотя механика материальной точки есть субтеория механики сплошных сред, фактический процесс (или, точнее, попытка) построения теорий жидкостей и твердых тел чаще всего идет от частиц к системам частиц и далее к непрерывным телам. Вообще же, пытаюсь построить более содержа-

тельные теории, как правило, опираются на доступные или подходящие с той или иной точки зрения теории, которые затем могут стать субтеориями относительно теорий, вновь построенных.

Во-вторых, если новая теория уже построена, то она должна быть критически исследована с тем, чтобы в случае необходимости убрать эвристические строительные леса, то есть идеи, заимствованные из существовавших ранее теорий. В противном случае могут возникнуть помехи для построения корректной формулировки новой теории и, следовательно, для ее понимания. Достаточно напомнить, что теория Фарадея — Максвелла не получала адекватного понимания до начала нашего столетия отчасти потому, что она тащила за собой механические аналогии.

В-третьих, плодотворная теория может быть источником вдохновения не только при построении более совершенных теорий, но и для коррекции предшествующих. Так, например, механика была представлена в новом свете после того, как была сформулирована теория поля. Отметим, что механика сплошных сред может быть интерпретирована как теория поля¹. Хорошо известно, что в физике твердого тела широко используется математический аппарат квантовой электродинамики. Гораздо менее известно, что классическая электродинамика, если в нее ввести такое типично квантовое понятие, как нулевая энергия, может давать объяснение некоторым квантовым эффектам². И даже вторичное квантование может быть имитировано в рамках классической теории³. Конечно, это не более чем ретроспекция, а не доказательство достаточности классической физики и того, что только на ее основе можно объяснить все загадки квантовой физики. Приведенные

¹ C. Truesdell and R. Toupin, in: S. Flügge (ed.), *The Non-Linear Field Theories of Mechanics*, Handbook of Physics, III/I, Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg, 1960.

² T. W. Marshall, *Proceedings of the Royal Society*, 1963, A 276, p. 475; T. W. Marshall, *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, 1965, vol. 61, p. 537; T. H. Boyer, *Physical Reviews* 1969, vol. 182, p. 1374; T. H. Boyer, *Physical Reviews*, 1969, vol. 186, p. 1304.

³ R. Bourret, *Physical Letters*, 1964, vol. 12, p. 1304, R. Schiller, in: M. Bunge (ed.), *Delaware Seminars in the Foundations of Physics*, 1967.

примеры лишь показывают, что новые теории не просто нагромождаются на старые, а что в процессе роста трансформируется вся система физики.

5.2. Эмпирическая проверка одной теории с помощью другой

Какой бы близкой к опыту ни казалась та или иная теория, ее эмпирическая проверка всегда требует помощи некоторых других теорий, входящих в общий замысел проверки, в конструкцию научных приборов, включенных в эксперимент, а также в сам способ считывания информации с них. Иными словами, в любую экспериментальную ситуацию будут вовлекаться два множества теорий (или фрагменты таковых) (см. гл. 10):

(1) теория, которая подлежит проверке (*основная* (substantive) теория), и

(2) совокупность фрагментов теорий, объясняющих экспериментальную установку (*вспомогательные* (auxiliary) теории).

Указанные множества теорий могут иметь непересекающиеся классы своих референтов. Так, теория конденсации космической пыли будет проверяться с помощью телескопов и других инструментов, при изготовлении которых использовались некоторые главы оптики и механики. Подобные неожиданные прагматические отношения возникают всегда с появлением новой техники эксперимента. Конечно, Ньютон и не подозревал, что в наше время для проверки некоторых применений его теорий движения и гравитации (например, расчет траектории полета на Луну) будут использованы электроника и вычислительные машины.

Тот факт, что никакая теория не является достаточной для планирования и интерпретации своей собственной проверки, представляется достаточно очевидным, исходя из многостороннего характера инструментов. Тем не менее этот факт молчаливо отрицается теми, кто, или рассматривает квантовую механику как теорию, касающуюся только экспериментальных ситуаций (например, Бор), или же считает необходимым строить общую квантовую теорию измерения, которая должна в свою очередь полностью объяснить любую

экспериментальную ситуацию (например, фон Нейман). Если бы все это было верно, квантовая механика оказалась бы единственной теорией, которая для своей проверки не нуждалась бы ни в каких вспомогательных теориях. Но экспериментаторы, видимо, думают иначе. Они рассматривают квантовую механику в качестве теории, которая в принципе может быть опровергнута с помощью экспериментов, проводимых в свете совокупности более или менее ясно сформулированных идей, заимствованных из ряда теорий. Одним словом, квантовые теории не являются исключением из правила, согласно которому эмпирическая проверка любой научной теории требует привлечения нескольких других теорий, так что ни одна научная теория не оказывается методологически изолированной. В противном случае отсутствовал бы взаимный контроль.

5.3. Эмпирическая проверка одной теории посредством другой

Некоторые теории не удается проверить непосредственно эмпирически, даже в конъюнкции со вспомогательными теориями (в смысле § 5.2). Тем не менее их можно проверить *посредством* другой теории. Например, в настоящее время не известно, как проверить релятивистскую термодинамику, что лишает ее операционального значения. Однако над этой теорией все-таки работают, хотя бы ради ее полноты и завершенности. Но необходимо искать и способы проверки некоторых формул этой теории. Например, нам следовало бы знать, преобразуется ли температура подобно длине (обычная точка зрения) или подобно энергии (что более правильно с точки зрения взаимосвязи со статистической механикой). Поскольку в настоящее время мы не знаем экспериментальной процедуры, которая могла бы дать ответ на этот вопрос, следует подумать о способах замены непосредственной эмпирической проверки. Релятивистская статистическая механика в принципе такую возможность нам предоставляет, правда, не полностью, а именно в той степени, в какой из нее следует релятивистская термодинамика. Поэтому проверка оказывается частичной (см. § 2.6). Кроме того, в настоящее время она практически

не осуществима, хотя такая возможность, видимо, появится в ближайшем будущем в связи с развитием способов получения и измерения сверхвысоких температур и скоростей в газовых струях. Далее, путь проверки релятивистской статистической механики лежит через эмпирическую проверку релятивистской механики. Это тоже неполная проверка, ибо вспомогательные стохастические предположения изолированно непроверяемы. Более того, она включает несколько дополнительных теорий. Но именно так обстоит дело. Эмпиристский идеал теории, перед которой находятся только эмпирические данные, является просто философским мифом.

5.4. Теоретическая проверка

Каждая новая, подающая надежды теория подвержена не только эмпирическим проверкам, но и чисто концептуальным испытаниям. Концептуальная проверка некоторой фактуальной теории состоит, по существу, в исследовании путей и способов, с помощью которых теория преодолевает силу традиций — как естественно-научных, так и философских. Даже революционная теория, если она научна, не будет восставать против всего, но будет совместима с логикой, большей частью, если не полностью с математикой и рядом фактуальных теорий, которые рассматриваются как истинные в первом приближении. (Мнение, восходящее к фон Нейману и разделяемое некоторыми математиками и философами, согласно которому квантовая механика влечет за собой революцию в логике, является необоснованным. Квантовая механика, если ее аксиоматизировать, предполагает определенные математические теории со «встроенной» в них обычной логикой. Далее, если бы квантовая механика подчинялась своей собственной логике, то ее нельзя было бы объединить с классическими теориями, например с теорией Максвелла, с тем чтобы вывести проверяемые утверждения.)

Если новая теория охватывает существенно новую область, которая до этого не рассматривалась в рамках какой-либо ранее принятой теории, то от нее требуется лишь *совместимость* со всей массой предпосылок процесса познания. Но если класс референтов новой тео-

рии включает класс референтов менее исчерпывающей теории и если обнаружено, что эта последняя частично истинна, то для «вновь прибывающей» теории ставятся более жесткие условия. В этом случае она должна включать старую теорию (в смысле § 3.4) или по крайней мере иметь *заметное перекрытие* (отметим преднамеренную неопределенность данного термина) с этой теорией в том или ином «предельном случае». В идеале новая теория должна обладать всеми достоинствами старой, не имея при этом ни одного из ее недостатков и ограничений.

Условие, что новая, более глубокая теория должна надежно сохранить установленные фрагменты той теории, которую она намеревается заменить, часто именуют *принципом соответствия* и при этом обычно ссылаются на Бора. Бор был, пожалуй, первым, кто ясно сформулировал его по отношению к квантовым теориям, и первым, кто его систематически использовал, хотя это правило применялось и ранее, особенно при проверке (концептуальной) специальной и общей теорий относительности. Подразумевается, что принцип соответствия является достаточно общим, чтобы охватить все те принципы, к которым обращаются при предварительной теоретической проверке. Однако, как это показано в § 2, не каждая теория отвечает его требованиям.

Бор и его последователи рассматривали специальный принцип соответствия, используемый при построении и проверке квантовой механики, как квантотеоретический закон. Но здесь можно отметить непоследовательность и поверхностный подход к анализу научных законов, так как все они по предположению имеют отношение к объективным структурам, а не к парам теорий. Иными словами, принципы соответствия являются *мета-теоретическими и эвристическими принципами*, а не принципами соотношения между теориями¹. Если бы они были первичными (prima) законами, а не мета-законами, то они позволили бы нам делать предсказания. Во всяком случае, введение подобных метаномологических утверждений в оценку научных теорий еще раз

¹ M. Bunge, *American Journal of Physics*, 1961, vol. 29, p. 518.

показывает, что теории испытываются как в свете фактов, так и в свете идей. Любая новая теория, помимо фактуальной адекватности, должна удовлетворять еще целому набору критериев, причем некоторые из них являются философскими¹.

6. Сомнительные точки зрения на отношения между теориями

6.1. Распространенная точка зрения

Распространенный взгляд на отношения между теориями, подобно всем популярным точкам зрения, весьма прост: считается, что любая историческая последовательность научных теорий является *возрастающей* в том смысле, что каждая новая теория включает (что касается ее объема) предшествующие ей теории. И в этом процессе ничто и никогда не теряется; по существу, указанная точка зрения предполагает непрерывный рост в виде аддитивной последовательности теорий, сходящихся к некоторому пределу, объединяющему все теории в единое целое. Эту точку зрения можно сделать весьма правдоподобной, выбрав в качестве примера короткие подпоследовательности, для которых аддитивный рост действительно имеет место. Эти подпоследовательности и приводят обычно в стандартных учебниках, которые протоколируют только успехи и никогда не фиксируют неудачи, к тому же бездоказательно утверждая, что более успешные теории содержат (реально или асимптотически) своих менее удачливых предшественников.

Популярный тезис в философском отношении поверхностен, так как пренебрегает семантическими аспектами (относительно изменения значений см. § 4.4 и 4.5), а кроме того, он просто неверен, если рассматривать его в качестве исторической гипотезы относительно прогресса науки. К тому же он смешивает логику и историю, два полюса, автономию которых необходимо сохранять. Этим же грешат и другие точки зрения на отношения между теориями, копенгагенская и диалектическая, к которым мы теперь и перейдем.

¹ M. Bunge, *Scientific Research* 1967, Chapter 15.

Согласно копенгагенской точке зрения, квантовая механика является не более исчерпывающей теорией, нежели классическая механика (под которой подразумевается механика материальной точки). Это мнение обосновывается тем, что в квантовой механике якобы не имеет смысла говорить о какой-либо микросистеме, скажем, о некотором атоме, как о вещи самой по себе. Согласно Бору и его последователям¹, следует всегда говорить лишь о едином, цельном блоке, загадочным путем образованном из микросистемы, измерительной установки (даже когда мы имеем дело с атомами в космосе?) и субъекта, ответственного за экспериментальное оборудование. Основания для такого утверждения представляются очевидными: мы не имеем иного подхода к микросистеме, как с помощью прибора, которым кто-то манипулирует. Далее, прибор должен описываться в классических терминах, ибо он представляет собой макросистему. Поэтому квантовая механика предполагает классическую механику и даже классическую физику в целом. Вот как это излагается в начале одного из стандартных учебников: «Квантовая механика занимает весьма своеобразное положение в ряду физических теорий — она содержит классическую механику как свой предельный случай (неверно, см. § 2.4) и в то же время нуждается в последнем для своего собственного обоснования»². Но как мы уже видели ранее, квантовая механика не включает классическую механику в целом, а содержит только крошечный ее фрагмент. Рассмотрим второй тезис.

Эта путаная точка зрения имеет два корня: классицизм и позитивизм. Сторонник классицизма пытается доказать необходимость сохранения классических аналогий, таких, как положение, импульс, частица и волна, отказываясь признать, что референтами квантовой механики могут быть настолько необычные сущности, что они не удовлетворяют формулировкам законов классической физики. Он не обращает внимания на то, что его

¹ Н. Бор, Атомы и человеческое познание. М., 1961; Р. К. Феуегабенд, Philosophy of Science, 1968, vol. 35, p. 309.

² Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц, Квантовая механика. Нелегитимистская теория, М., 1963, стр. 16.

позиция приводит к явным противоречиям вроде рассуждений о дифракции частиц и столкновении волн, классикист все равно будет цепляться за какой-либо оправдывающий эту нелепость принцип вроде принципа дополнительности. Ошибочность второго корня копенгагенской точки зрения, согласно которому квантовая механика предполагает классическую механику, даже более очевидна. Это характерное для Венского кружка смешение *соотнесения* (Gefegense) и *проверки*, которое было полностью разъяснено совсем недавно¹. Конечно, для того чтобы проверить квантовую механику, как и любую физическую теорию, необходимы некоторые фрагменты классической физики. Вспомним, что говорилось о роли вспомогательных теорий при проверке фундаментальных теорий (§ 5.2). Но это не означает, что при формулировании квантовой механики надо начинать с классической механики только затем, чтобы потом сделать заключение, что обе они в действительности взаимно несовместимы. Это также не означает, что было бы бессмысленно говорить о микросистеме, независимо от измерительного устройства. Квантовая электродинамика по большей части говорит о независимых электронах, а если вычисляют энергетические уровни атомов и молекул, то никогда не принимают во внимание какие-либо приборы. В большинстве формул квантовой теории координаты приборов просто не встречаются. Одним словом, хотя квантовая механика и проверяется с помощью теорий, которые не совсем совместимы с ней, последние в ее формулировках отсутствуют. Копенгагенская точка зрения на отношения между теориями представляет собой в итоге еще одно заблуждение, от которого нам следует избавиться.

6.3. Диалектическая точка зрения

Философы, сторонники диалектики, утверждали, что историческая последовательность идей представляет собой диалектический процесс, посредством которого каждая новая идея ассимилирует своих предшественниц и преодолевает присущие последним внутренние противо-

¹ H. Feigl, The «Mental» and «Physical», 1967; M. Bunge, Reviews of Modern Physics, 1967, vol. 39, p. 463.

речия. Но в то же время она (эта новая идея) содержит свои собственные противоречия — главную движущую силу, которая в конечном счете приведет к диалектическому отрицанию ее самой. Любая успешная новая теория и ее исторические antecedенты связаны отношением диалектического *Снятия* или *Aufhebung* в том смысле, что первая так или иначе будет содержать в себе своих предшественниц, хотя и не «механическим» путем (не в качестве субтеорий).

Верно, что осознание несовместимости, и в частности противоречий, служит главным источником прогресса науки — но не потому, что так нравится ученым, а, скорее, потому, что они любят последовательность, внутреннюю и внешнюю логичность (то есть совместимость данной теории со всей совокупностью человеческого знания). Но это не обосновывает диалектического тезиса.

Во-первых, никем отнюдь не доказано, что любая научная теория должна содержать противоречие. Правда, промежуточные, переходные теории — такие, как «упругая» теория света и классическая квантовая теория Бора, — иногда содержат противоречие, но никто не чувствует себя счастливым, когда оно обнаруживается.

Во-вторых, мнение, что любая успешная новая теория преодолевает и в какой-то мере суммирует старые теории, является чрезвычайно оптимистическим. Иногда новая теория более поверхностна, чем теория, с которой она конкурирует, однако она принимается, потому что имеет некоторые другие преимущества. Свидетельством тому — спор между термодинамикой и атомистической теорией во второй половине прошлого века. Более того, хотя в наше время обскурантистская философия и недееспособна, мы не можем исключить возможность известного регресса, когда на место современных теорий могут прийти новые, более низкого уровня; теоретический прогресс, необходимый для совершенствования понимания и освоения реальности, ни в коем случае не является логической или исторической необходимостью.

Но если даже отвлечься от истории, философская недовлетворенность диалектической точкой зрения на отношения между теориями проистекает в основном от ее неопределенности, поскольку отношение *снятия*

(Aufhebung) не анализируется. Кроме всего прочего, оно, по-видимому, не поддается анализу в терминах логики или математики, так как диалектика неформальна и ее ядро составляет онтическое (ontic) противоречие (напряжение, борьба). Невозможна и обратная экспликация логики в терминах диалектики. Ибо, хотя диалектики часто утверждают, что формальная логика является в некотором смысле «классическим пределом» диалектической логики, последняя никогда не была точно сформулирована и не было доказано также, что она включает формальную логику. Более того, идея диалектической логики в целом равносильна попытке объяснить динамику мира, исходя из досократического смешения логики и онтологии. В лучшем случае диалектика может утверждать, что она является онтологической и/или эпистемологической теорией. Во всяком случае, отношение снятия не было разъяснено, и поэтому диалектическая точка зрения на отношения между теориями осталась довольно неясной: это не объясняющая теория, а, скорее, теория, которая сама нуждается в объяснении. Именно поэтому она не внесла какого-либо вклада в изучение логических, семантических и методологических отношений между научными теориями. Попытки соприкосновения диалектической логики с позитивизмом и копенгагенской доктриной¹ лишь усугубляют ее неясности. Совокупность неясностей к ясности привести не может.

7. Заключительные замечания

Пока еще, видимо, не предложено какой-либо общей теории отношений между теориями. Мы получили только (а) исчисление дедуктивных систем, теорию моделей и теорию категорий, которые в совокупности заботятся о формальных отношениях между теориями, и (б) некоторое множество разрозненных замечаний, касающихся неформальных отношений между ними. Эти замечания по большей части схематичны и неформальны и очень часто некорректны. Отсутствует не только систематиче-

¹ M. Strauss, in: P. Weingarten and P. Zecha (eds.), *Inductions, Physics and Ethics*, D. Reidel, Dordrecht, 1970.

ское изучение отношений между теориями — за исключением формальной стороны вопроса, — но скуден и детальный анализ специфических пар теорий, искажаемый рядом мифов, бытующих в учебниках. Больше того, мы попадаем в замкнутый круг: общей теории нет потому, что мы не имеем достаточного количества детальных исследований частных случаев, а эти исследования в свою очередь редки из-за отсутствия общей теории, которую можно было бы к ним применить.

Но все же мы обладаем некоторыми основными средствами для того, чтобы попытаться осуществить систематический анализ отношений между теориями. Это главным образом упомянутые выше исчисления дедуктивных систем, теория моделей и аксиоматика. Дилетантский анализ, пренебрегающий этими средствами, может в лучшем случае привести только к некоторым ценным догадкам. Ибо пользу можно получить только от сравнения хорошо упорядоченных систем с определенной структурой и сравнительно ясно выраженным содержанием. Более того, поскольку теории представляют собой бесконечные множества утверждений, то контролю поддаются только их аксиоматические основания и несколько типичных теорем. Поэтому аксиоматизация является одной из предпосылок точного анализа логических и семантических отношений между теориями. Это применимо, в частности, по отношению к проблеме сводимости одной теории к другой. Несколько лет назад Вуджер сказал: «Строго говоря, мы можем плодотворно обсуждать отношения между теориями только тогда, когда они аксиоматизированы. Однако вне математики это условие никогда не соблюдается. Отсюда вытекает тщетность многих дискуссий относительно сводимости «в принципе» теории T_1 к теории T_2 . Такие вопросы могут быть решены не дискуссиями подобного рода, а лишь реальным осуществлением редукции. Последнее не сделано и не может быть сделано до тех пор, пока данные теории не аксиоматизированы»¹. Но это замечание не привлекло внимания философов, занимающихся проблемами редукции.

¹ J. H. Woodger, *Biology and Language*, Cambridge University Press, 1952.

Пока существует предрассудок, согласно которому научная теория является не гипотетико-дедуктивной системой, а некоторым индуктивным синтезом, метафорой и тому подобным, пока чувствуется некоторое иррационалистическое сопротивление аксиоматике, не следует ожидать каких-либо решающих успехов в изучении отношений между теориями. Пока мы не будем иметь ни тщательного исследования исторических случаев, ни какой-либо общей теории, нам следовало бы воздерживаться и не «выдавливать» философский сок из отношений между теориями.

Граница теории
и эксперимента

Любая научная теория может контактировать с опытом по крайней мере тремя способами: (а) проверкой на фактуальную истинность посредством опыта (наблюдение, измерение или эксперимент); (б) использованием для планирования и интерпретации наблюдений, измерений или экспериментов; (с) применением в практических (непознавательных) целях, таких, как создание или разрушение чего-либо. Мы обратимся к первым двум случаям и подойдем к проблеме с общеметодологической точки зрения, не вдаваясь в технические подробности статистических выводов и экспериментального замысла. Наша цель в основном будет философской: подчеркнуть внутренние связи теории и опыта, связи, опровергающие превосходство одного из этих полюсов.

Мы покажем, что проверка научной теории представляет собой сложный процесс, в котором могут быть выделены следующие стадии:

(i) теория подвергается предварительной, неэмпирической по своей природе проверке, такой, как совместимость с принятой совокупностью знания;

(ii) теория дополняется вспомогательными предположениями в той мере, пока не появляется возможность вывести на ее основе специфические предсказания и построить гипотезы относительно представителей предполагаемых ненаблюдаемых или указателей на них;

(iii) С помощью дополнительных теорий производятся (а не собираются) новые данные;

(iv) эти данные сопоставляются с предсказаниями теории; при этом дается оценка и тем и другим.

1. Приоритет неэмпирических проверок

1.1. *Согласие с фактом не является решающим*

В официальной философии науки считается, что соответствие факту не только необходимо, но также и достаточно для принятия научной теории, так как научные теории являются всего лишь совокупностью данных, больше того, их кодификациями и слабыми экстраполяциями. И если теоретическое предсказание вступает в конфликт с некоторыми эмпирическими фактами, то вся вина ляжет на теорию, причем без какой-либо апелляции, ибо высшей судебной инстанцией всегда будет опыт. Эта точка зрения несостоятельна как в методологическом, так и в философском и историческом планах. Во-первых, потому, что в обычной физической практике, как правило, те факты, которые вступают в конфликт с установленными теориями, отвергаются. Во-вторых, потому, что факты являются всем чем угодно, только не данными; они производятся и интерпретируются с помощью теорий. В-третьих, потому, что большинство теорий касается не наблюдений и измерений, не говоря уже об актах восприятия, а вещей или, скорее, их идеализированных моделей. В-четвертых, потому, что, как мы увидим дальше, проверяемые предположения редко следуют из предположений одной только теории, если вообще следуют, они, скорее всего, содержатся обычно в конъюнкции теории и дополнительных предположений, а также в объеме информации, отличном от того, который призван служить для проверки данной теории. Так же, например, как обобщения «все люди смертны» еще недостаточно для вывода, что Сократ смертен.

Общепринятая точка зрения, опровергается и историей науки, то есть тем видом опыта, который философы науки всегда должны как-то учитывать. В самом деле, история науки изобилует примерами теорий, которые подтверждаются, несмотря на противоречащие им эмпирические свидетельства — что справедливо, ибо данные в конечном счете оказываются ошибочными. Так было в случае «аномалий» в движениях планет, за исключением Меркурия. Аномалии интерпретировались не как опровержение небесной механики Ньютона, а как показатель неполноты информации или трудностей проведе-

ния точных вычислений в рамках этой теории. Так было и в случае некоторых «точных» измерений, выполненных компетентными экспериментаторами, которые, казалось, опровергали постоянство скорости света и тем самым как классическую электродинамику, так и специальную теорию относительности. Это характерно для каждой новой теории, объясняющей какую-то часть множества доступных нам данных. Несмотря на то что она может конфликтовать с некоторыми из них, если на горизонте не видно никакой более лучшей теории, то конфликт объявляется несущественным или в худшем случае печальным фактом жизни, если не просто недоразумением. Так было с эйнштейновской теорией броуновского движения — она оказалась решающей в обосновании атомистической теории строения вещества. Действительно, эта теория подтверждалась измерениями Перрена, но опровергалась столь же тонкими (но, как оказалось, ошибочно интерпретированными) измерениями В. Генри¹. Кроме всего прочего, она принималась еще и потому, что объясняла броуновское движение (даже несмотря на сомнительность ее предсказаний) и согласовывалась с такими теориями, как кинетическая теория газов и химическая теория атомов. Так или иначе, соответствие (несоответствие) факту редко оказывается достаточным для того, чтобы принять (отвергнуть) научную теорию.

1.2. Четыре ступени проверки

Нравится нам это или нет, но любая органически целостная система научных идей оценивается в свете результатов четырех ступеней проверки: метатеоретической, интертеоретической, философской и эмпирической. Первые три составляют неэмпирическую проверку, а все четыре в совокупности могут кое-что сказать относительно жизнеспособности или степени истинности теорий².

Метатеоретическая проверка охватывает и форму и содержание теории. Ее цель, в частности, установить,

¹ S. Brush, *Archive of History Exact Science*, 1968, vol. 5, p. 5.

² M. Bunge, *Philosophy of Science*, 1961, vol. 28, p. 120; *The Myth of Simplicity*, 1963, N. Y.; *Scientific Research*, 1967.

является ли теория внутренне непротиворечивой (нема- ловажная задача), имеет ли она столь же недвусмы- сленное фактуальное значение в том виде, как она сформулирована, и проверяема ли она эмпирически с по- мощью добавочных конструкторов, особенно гипотез, свя- зывающих ненаблюдаемые (например, причины) с на- блюдаемыми (например, симптомы).

Интертеоретическая проверка выявляет совмести- мость данной теории с другими, ранее принятыми, в частности с теми, которые логически предполагаются рассматриваемой теорией. Эта совместимость часто до- стигается в некоторых предельных случаях, например для больших (или малых) значений некоторых харак- терных параметров, таких, как масса или относительная скорость.

Философская проверка представляет собой исследо- вание метафизических и эпистемологических достоинств ключевых понятий и предположений теории в свете той или иной философии. Так, с точки зрения позитивизма преимущество отдается феноменологическим теориям, таким, как термодинамика, теория S-матрицы, бихевио- ристская теория обучения; тогда как теориями, пытаю- щимися объяснить строение и структуру рассматривае- мой системы, будут пренебрегать или даже возражать против них безотносительно к эмпирической доказатель- ности и стремлению к более глубокому объяснению. Я не выступаю в качестве адвоката философской цен- зуры, но хотел бы напомнить, что, как тому свидетель- ствует история, философские доводы и соображения формулируются всегда; правда, иногда это было к луч- шему, но чаще всего нет¹.

Если теория отвечает принимаемым метатеоретиче- ским, интертеоретическим и философским требованиям, то ее можно рассматривать как готовую к некоторым эмпирическим проверкам. (Удовлетворяет ли она в дей- ствительности этим требованиям, это другой вопрос, как и то, удастся ли ей завладеть вниманием и возбудить лю- бопытство компетентных экспериментаторов.) Любая

¹ Н. Hertz, *The Principles of Mechanics*, 1956, Dover, New York; Н. Margenau, *The Nature of Physical Reality*, 1950; М. Bunge, *Philosophy of Science*, 1961, vol. 28, p. 120; Т. Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions*, 1962; J. Agassi, in: М. Bunge (ed.), *The Critical Approach*, Free Press III, 1964.

Эмпирическая проверка, конечно, является подтверждением некоторых из бесконечного множества логических следствий первоначальных предположений теорий, обогащенных вспомогательными гипотезами и фактами, а также некоторой информацией, полученной с помощью наблюдений, измерений или экспериментов, задуманных и эксплицированных с помощью данной теории и других возможных теорий. Так, для того чтобы проверить теорию гравитации, надо обратить внимание на некоторые ее теоремы и построить с помощью понятий данной теории модель рассматриваемой физической системы, которая будет включать лишь те свойства реальной вещи, которые имеют отношение к рассматриваемому нами вопросу. Следующим шагом будет планирование и выполнение определенных измерений, относящихся к данной модели и, кроме того, основанных на таких теориях, как механика и оптика.

1.3. Приоритет неэмпирических проверок

Любая теория в принципе не должна подвергаться эмпирической проверке, если она не прошла вышеуказанных неэмпирических испытаний. Однако фактически эти испытания часто не проводятся либо потому, что они чрезвычайно трудны (как в случае проверок на непротиворечивость), либо в силу интуитивного ощущения, что теория удовлетворяет неэмпирическим требованиям — впечатление, которое нередко ошибочно. Незавершенность таких проверок не снижает их ценности и не опровергает нашего утверждения о том, что неэмпирические испытания превосходят по важности эмпирические. Так или иначе, но теории, явным образом противоречивые, можно отбрасывать без какого-либо сомнения. Независимо от того, насколько научная теория оказывается оригинальной, она должна быть еще и «разумной», «подходящей». Иначе говоря, научная теория должна быть хорошо построенной, не противоречить подтвержденным научным убеждениям, не постулировать ничего такого, что оказывается неприемлемым по метафизическим соображениям (например, способность электрона принимать решения), или вводить смутные с точки зрения эпистемологии идеи (например, скрытые переменные, которые никак нельзя обнаружить).

Все три неэмпирические проверки включают соответственно проверку на противоречивость: внутреннюю непротиворечивость, непротиворечивость с другими областями научного знания и с философскими принципами. Непротиворечивость является не только логическим, но и методологическим свойством. В самом деле, любая внутренне противоречивая теория может предсказать все что угодно, поскольку она может быть подтверждена столь же противоречивыми фрагментами данных. Любая теория, непригодная к контакту с другими теориями, не в состоянии воспользоваться их помощью и контролироваться ими. Это часто и случается со многими псевдонаучными концепциями. Худшее из возможного — это не опровержение теории экспериментами, которые она сама индуцировала, а отсутствие ее связи с другими теориями.

Что касается совместимости научных теорий и доминирующей философии или же просто наших взглядов на мир в целом, то мы заботимся об этом потому, что философия, безусловно, имеет отношение к научному исследованию и, в частности, к отбору проблем, формулированию гипотез и оценке идей и процедур. Нечего и говорить, что преклонение перед ошибочной философией может оказаться пагубным для исследования. Так, интуитивистская философия затормозила развитие психологии в некоторых странах, главным образом в Германии и Франции. Однако фактом является и то, что исследователи постоянно ищут согласия или контакта с доминирующей философией, согласия, которое ценится весьма высоко. При этом часто полагают, хотя и ошибочно, что оно достигнуто, как, например, это было с релятивистской и атомной теориями в их отношении к позитивизму. В связи с этим все более возрастает необходимость критического анализа и философских принципов. Но корректирование естествознания (science) и философии должно быть взаимным, а не односторонним во избежание их взаимного окостенения. Плодотворное взаимодействие философии и естествознания необходимо. В общем, хотя еще и существуют ненаучные философские системы, научное исследование в целом пронизано философскими идеями¹.

¹ M. Bunge, *Scientific Research*, 1967.

2. Вторая стадия: готовность теории к конфронтации

2.1. Изолированные теории непроверяемы

Сто лет назад великий Максвелл заметил, что проверка «кандидатов» на утверждения о законах требует в первую очередь не лаборатории, а дальнейшей теоретической работы: «верификация законов является результатом теоретического исследования условий, при которых могут быть точно измерены определенные величины, затем следует экспериментальная реализация данных условий и фактические измерения величин»¹. Отметим три стадии: планирование эксперимента (часть теоретической работы), построение экспериментальной установки и выполнение эмпирических операций². Планирование эксперимента будет включать дополнительные гипотезы относительно связей данной величины (например, давление газа) с другой величиной, которая может быть измерена (например, длина столба жидкости), а также теоретическое представление об установке в целом. То же самое применимо а fortiori (тем более) к процессу верификации систем гипотез, то есть теорий.

Научную теорию невозможно подвергнуть эмпирической проверке, не связывая ее с другими теориями. Прежде всего, если теория охватывает лишь некоторые аспекты своих референтов (например, их магнитные свойства), то любая эмпирическая операция связана с реальными объектами, противостоящими попыткам абстрагировать их от тех аспектов, которыми теория преднамеренно пренебрегает. Во-вторых, некоторые теории не могут быть проверены сами по себе, поскольку они не касаются наблюдаемых фактов. Они могут ограничиться утверждениями по поводу того, что случилось или может случиться, неважно, будут ли эти события наблюдаться или нет. (Но такая теория все-таки может иметь фактуальное содержание при полном отсутствии эмпирического содержания.) Так, теория электрических цепей относится к электрическим токам, но она не формулирует условий своей собственной проверки. Последняя требует

¹ J. C. Maxwell, Proceedings London Mathematical Society, 1871, vol. 3, p. 224.

² Подробности см.: M. Bunge, Scientific Research, 1967.

дополнительной теории, а именно электродинамики, которая перебрасывает мостик от ненаблюдаемых, таких, как интенсивность тока, к наблюдаемым, таким, как угол отклонения стрелки измерительного прибора. В большинстве случаев мы нуждаемся не в полной теории, а только в отдельных фрагментах различных теорий.

Иными словами, научные теории *непроверяемы вне их связи с другими теориями* как потому, что они не могут охватить всего, так и потому, что они включают понятия, находящиеся вне сферы наблюдения, которые не связаны с какими-либо эмпирическими понятиями в рамках этих теорий. Эта связь, без которой нельзя обойтись при проверке теории, должна быть заимствована из других областей знания. Так, психологическая теория проверяема в той степени, в какой с нею могут быть связаны предметные дисциплины (бихевиориальные, психологические, неврологические и т. д.). Одним словом, если нас интересует статус теорий в эмпирической области, то нам следует обратиться к дополнительным идеям, а не к элиминации каждого теоретического элемента с помощью «операциональных определений».

2.2. Дополнение теоретической модели референта

Дополнительные фрагменты других теорий необходимы, но недостаточны для получения результатов, сравнимых с фактами, поскольку в опыте мы имеем дело с индивидуальными вещами — с данным жидким телом, а не классом тел, с данным человеком, а не с человечеством вообще и т. д. Поэтому мы должны ввести *дополнительные предположения*, касающиеся деталей рассматриваемых систем. Например, к теореме электромагнитной теории в ряде случаев нужно добавить специальные гипотезы и данные относительно формы распределения заряда и намагниченности источников поля.

Общая теория не содержит подобных вспомогательных предположений именно потому, что она общая. Она представляет собой объясняющую систему, совместимую с целым семейством из многообразия вспомогательных предположений. Каждое такое множество очерчивает *теоретическую модель* рассматриваемой вещи. Любая модель формулируется на языке теории, хотя и не диктуется последней. Ясно, что теоретическая модель может,

но не должна быть, наглядной. Будучи построенной с помощью понятий теории, она столь же абстрактна (в эпистемологическом смысле), как и сама теория. Например, классическая механика совместима с большим разнообразием моделей планетарных систем; подобным же образом она совместима со многими моделями жидкостей: моделью сплошной среды, газоподобной моделью, кристаллоподобной моделью (модель Изинга) и т. д. Любая общая теория не может быть проверена независимо от тех или иных моделей, поскольку модель рассматривается как теоретический образ исследуемой вещи, а не как ее эвристическая метафора.

2.3. Роль научных гипотез

Вспомогательные гипотезы, касающиеся отдельных аспектов объекта исследования, могут замаскировать истинную ценность общей теории, в частности, если в распоряжении имеется очень мало данных, как это часто случается в новых областях исследования. Предположим, например, что две конкурирующие теории описывают воображаемое физическое свойство Q , характерное для какой-либо массы вещества. Каждая теория предлагает свое собственное функциональное отношение между данным специфическим свойством Q и областью A рассматриваемой вещи. Первая теория допускает, что (в соответствующих единицах) $Q = \frac{1}{2}A^{1/2}$, тогда как вторая постулирует, что $Q = (2/A)^{1/2}$. Предположим далее, что измерения дают следующую информацию: (а) e = линейным размерам D данного экспериментального объекта, которые имеют порядок единицы; (б) e^* = значению Q , измеренному на экспериментальном объекте и равному $1,0 \pm 0,2$. К сожалению, форма вещи ненаблюдаема, она должна быть угадана. Здесь необходимо добавить вспомогательное предположение. Для того чтобы теория начала работать, нам следует сформулировать гипотетическую модель вещи, в данном случае наглядную модель ненаблюдаемой вещи. Предположим, мы получили следующее:

$$e : D = 1$$

$$H_1 : Q = \frac{1}{2} A^{1/2} \quad H_2 : Q = (2/A)^{1/2}$$

S_1 : вещь имеет форму диска S_2 : вещь имеет форму сферы

$$H_1, S_1, e \vdash Q_1 = \pi^{1/2}/4 \cong 0,4 \quad H_2, S_2, e \vdash Q_2 = (2/\pi)^{1/2} \cong 0,8$$

Ясно, что правый результат совместим в пределах экспериментальной ошибки с измеряемым значением Q , то есть $1 \pm 0,2$. Однако было бы неверно отказаться от H_1 на этом основании, ибо, заменяя S_1 на S_2 , мы получили бы $Q = \pi^{1/2}/2 \cong 0,9$, которое дает лучшую оценку Q , чем Q_2 . Случай этот, конечно, воображаемый, но никоим образом не искусственный. Поэтому необходимо уделять большое внимание модели объекта, ибо хорошая модель может спасти (временно) несовершенную общую теорию, точно так же как неадекватная модель может разрушить (навсегда) плодотворную общую теорию.

2.4. Предполагаемые модели и их поиски

Ученые-теоретики могут декларировать в предисловиях и заключительных замечаниях, что любая научная теория «основывается» на экспериментальных данных. Но, прочитав работу, втиснутую между двух эмпиристских обложек, обнаруживают, что она не соответствует этой философии. Фактически каждое такое исследование, если в нем не предлагается новой теории, сводится к: (а) вычислениям, которые могут (иногда) впоследствии вступить в конфликт с эмпирическими результатами, либо к (б) комбинации имеющихся в наличии экспериментальных данных с общей схемой для того, чтобы сделать вывод о некотором специфическом свойстве рассматриваемой системы. В любом случае работа начинается с некоторых общих схем, а не с фрагментов, хотя бы только потому, что общая схема будет наводить на мысль о характере нужной нам информации и где ее искать: в лаборатории или в поле. Поэтому в случае рассеяния атомных пучков будут измеряться или вычисляться энергии и поперечные сечения рассеяния, а не, скажем, энтропии и упругие напряжения, ибо общая теория говорит нам, что здесь уместны первые величины.

Более точно, в теоретической науке имеются прямые и обратные задачи. *Прямая задача* выглядит примерно следующим образом. Дана общая схема и некоторая специфическая модель рассматриваемой системы. Тре-

буется: найти общую формулу определенного вида и пример, ее иллюстрирующий. Приведем несколько примеров из физики. (а) Дана классическая механика (общие рамки) и определенная модель жидкости (определяемая, скажем, некоторым распределением масс, напряжений и сил); нужно рассчитать траекторию движения в жидкости некоторой произвольной частицы (например, линию течения). (б) Дана квантовая механика (общая схема) и стандартная модель атома гелия (система трех тел, связываемых кулоновскими силами); получить спектр энергий. (с) Дана та же самая теория, что и в (б), и обычная модель мишени как системы силовых центров притяжения (или отталкивания); необходимо рассчитать поперечное сечение рассеяния для пучка с заданными характеристиками.

Соответствующими *обратными задачами* будут следующие. (а) Дана классическая механика и множество линий тока; необходимо вывести массу и плотности сил, а также тензор напряжений. (б) Дана квантовая механика и некоторый энергетический спектр. Надо найти составляющие данной системы и силы, действующие между ними. (с) Дана квантовая механика и поперечное сечение как функция энергии; необходимо получить силы, действующие между частицами. В любом случае обратная задача состоит в следующем. Дана общая теоретическая схема и определенные эмпирические данные; найти модель, которая наилучшим образом удовлетворяет обоим.

Символически это можно записать так: общая теория дает нам функцию f , которая соотносит предполагаемую модель m с проверяемым следствием t , то есть $t = f(m)$. Так, в случае прямой задачи рассеяния t может быть фазовым сдвигом, а m — предполагаемым гамильтонианом (эквивалентно, силами взаимодействия). Обратная же проблема, с другой стороны, сводится к нахождению обратной функции f^{-1} от функции f таким образом, чтобы получить $m = f^{-1}(t)$. Эффективное обращение функции f требует получения соответствующей информации t , так же как применения или изобретения соответствующих математических средств. Ищут не просто эмпирическую информацию, ищут именно тот вид информации, получение которого ставит своей целью экспериментатор и который навеян более или менее об-

щей концептуальной схемой. Известный специалист по задачам рассеяния заметил, что «наиболее легко получаемая информация (из опытов по рассеянию) все равно не поможет нам, если мы не будем достаточно изобретательными в поисках рецепта извлечения из нее гамильтониана»¹.

Если данная общая теория непротиворечива, а прямая проблема сформулирована должным образом и в принципе разрешима, то она будет иметь единственное решение. Иначе обстоит дело с большинством обратных проблем, для которых характерна неопределенность². Это, в частности, имеет место для проблемы нахождения некоторой модели на основе общей схемы и множества данных. Как правило, они совместно определяют целый класс моделей (например, гамильтонианов), а не одну-единственную модель. Для того чтобы ясно представить неопределенность, свойственную обратным задачам (нахождение моделей), нет необходимости приводить примеры из физики элементарных частиц³. Мы обнаружим ее уже в элементарных задачах, таких, как проблема определения напряженности и силы переменного тока на основании измерений, которые дают только средние значения.

2.5. Общая схема

Назовем T_1 теорию, которую нам необходимо проверить, а S_1 — множество вспомогательных предположений, добавляемых для выведения некоторых утверждений T'_1 , достаточно конкретных, чтобы быть уже близкими к опыту. S_1 будет включать теоретическую модель исследуемой системы и, возможно, упрощающие предположения, такие, как, например, линеаризация. Данная теория T_1 — некоторое бесконечное множество утверждений — будет подтверждена с помощью теорем T'_1 , которые не только конечны по числу, но также отчасти и чужды теории T_1 , хотя и сформулированы на ее языке. (Еще одна причина для отрицания идентичности «теории» и «языка».) Заметим, что реальная ситуация, в ко-

¹ R. G. Newton, *Scattering Theory of Waves and Particles*, McGraw-Hill, New York, 1966.

² M. Bunge, *The Myth of Simplicity*, 1963.

³ См., например: R. G. Newton, *Scattering Theory of Waves and Particles*, 1966.

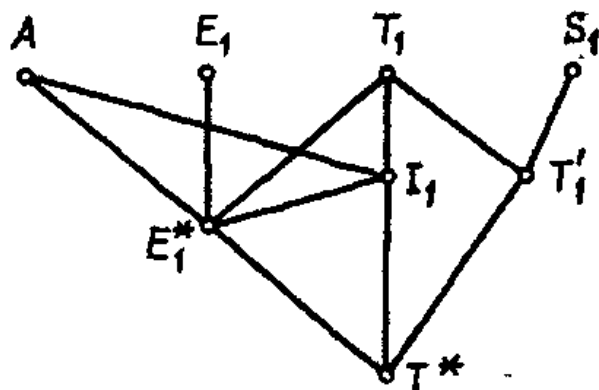
торой T_1 и S_1 совместно влекут за собой T'_1 , весьма далека от стандартной точки зрения, согласно которой одна только теория T_1 способна обеспечить множество теорем T'_1 , которое в свою очередь непосредственно сравнимо с эмпирическим свидетельством.

Как правило, даже теоремы T'_1 тоже еще не будут непосредственно проверяемы, ибо они будут содержать в себе такие теоретические понятия, как, скажем, напряжение (будь то механическое или психологическое), которые не имеют каких-либо эмпирических аналогов. Для того чтобы связать T'_1 с опытом, необходимо добавить дополнительную систему гипотез, объективирующих ненаблюдаемые сущности и свойства, о которых идет речь, или указывающих на них. Так, гравитация объективируется в движении, а аппетит — в количестве съеденной пищи. Назовем I_1 множество указателей, или объективаторов, используемых при наведении моста через пропасть, разделяющую теорию T_1 и опыт. Эти указатели, или индикаторы, не являются «операциональными определениями», они полны «воздушных» (blown) гипотез, которые сами должны быть независимо проверены, несмотря на то, что они могут и не ставиться под сомнение в процессе проверки теории T_1 . Эти гипотезы выдвигаются на основе доступного нам знания A , так же как и самой теории T_1 , ибо рассматриваемая теория должна сама решить, какого рода доказательства для нее пригодны. Во всяком случае, если процесс выдвижения гипотез окончен, то мы должны уметь показать, что объективирующие гипотезы хорошо обоснованы, то есть что A и T_1 совместно содержат I_1 .

Если же нам надо вывести конкретные предсказания, то необходимы еще некоторые частные эмпирические утверждения. Назовем E_1 множество данных, которые питают теорию. Для того чтобы ввести их в теорию T_1 , мы должны перевести данные на ее язык. Например, астрономические данные, первоначально выражавшиеся в геоцентрических координатах, должны быть переведены в гелиоцентрические. Перевод этих данных осуществляется с помощью самой теории T_1 и некоторых фрагментов предшествующего знания A . Назовем E'_1 множество данных, сформулированных на языке теории T_1 и пригодных для нее. При тщательной логической реконструкции A , T_1 , I_1 и E_1 будут содержать E'_1 .

Наконец, на основании частных теорем T'_1 и переведенных данных E'_1 мы получаем некоторое множество T^* проверяемых следствий — не только теории T_1 , как таковой, а теории T_1 , рассматриваемой в конъюнкции со всеми остальными предположениями и данными. Именно множество T^* будет непосредственно входить в контакт с новыми эмпирическими свидетельствами, полученными для проверки теории T_1 .

Итак, подготовка теории T_1 для эмпирической проверки заключается в следующем:



Р и с. 5. Выведение проверяемых следствий теории T_1 включает предшествующее знание A , некоторые данные E , некоторую модель S_1 и гипотезы I_1 , играющие роль переходных мостиков.

| | |
|---|--------------------------------|
| <i>Построение модели референта</i> | S_1 |
| <i>Дедуктивное выведение частных теорем</i> | $T_1, S_1 \vdash T'_1$ |
| <i>Построение индикаторов</i> | $A, T_1 \vdash I_1$ |
| <i>Перевод данных</i> | $A, T_1, E_1, I_1 \vdash E'_1$ |
| <i>Выведение проверяемых следствий</i> | $T'_1, E'_1 \vdash T^*$ |

3. Третья ступень: продуцирование и предсказание новых опытных данных

3.1. Интерпретация того, что мы видим

Следующая задача состоит в производстве множества данных E^* , имеющих отношение к теоретическим предсказаниям T^* . Выполнение этой задачи часто требует теоретической работы, сравнимой по объему с предшествующей стадией.

Рассмотрим, например, картины дифракции рентгеновских лучей — основной эмпирический инструмент анализа, используемый в молекулярной биологии. Ясно, что они имеют смысл только в теоретическом контексте. Мы видим на них лишь темные пятна и кольца вокруг некоего центра. Такие фигуры не имеют очевидной связи с пространственной конфигурацией атомов в кристалле. Только теория раскрывает нам значение подобных (естественных) знаков. Для того чтобы «прочитать» такие картины, необходимо построить гипотезу относительно данной конфигурации атомов (назовем ее T_1) с помощью некоторых фрагментов физических и химических теорий. Затем необходимо добавить электромагнитную теорию (назовем ее T_2), объясняющую природу и поведение рентгеновских лучей. На основании T_1 и T_2 вычисляют (с помощью рядов Фурье) теоретическую картину дифракции, то есть, то, что должно было бы получиться, если бы T_1 и T_2 были правильными. Но эта картина ненаблюдаема; нам нужен, кроме того, еще некоторый мост для перехода к наблюдаемой картине. Дифракционные картины фиксируются на чувствительных фотографических пластинках. Механизм этого процесса объясняется третьей теорией — фотохимией, которую мы назовем T_3 . Картина дифракции рентгеновских лучей («слепые» данные) становится свидетельством за или против теории молекулярных структур T_1 , если эта картина может быть выведена из нее с помощью вспомогательных теорий (электромагнитной оптики и фотохимии), одна из которых объясняет механизм дифракции, а другая — механизм почернения фотопластины. Одним словом, T_1 , T_2 и T_3 в совокупности влекут за собой E (см. рис. 6).

Экспериментатор, конечно, начнет с другого конца: он получит E и будет пытаться угадать T_1 с помощью теорий T_2 и T_3 , которые в данном частном контексте он будет принимать за доказанные. Его задача будет обратной (см. § 2.4). Если кристалл очень сложный, как в случае с протеином, который содержит тысячи атомов, то работа по разгадыванию его строения и структуры будет очень сложной: до сих пор расшифрована только небольшая часть таких картин. Однако всегда можно получить некоторую вспомогательную информацию из сходных, изучавшихся ранее случаев.

Кроме того, вначале многой эмпирической информацией можно пренебречь и начать исследование, используя инструмент малой разрешающей силы, подобно тому как астрономы часто начинают с телескопов малой мощности. Если не сделать таких упрощений, то, возможно, и не удастся получить никакой структуры вообще. Точно так же, как грубая теоретическая модель все же лучше, чем ничего. Удобоваримые данные предпочтительнее запутанных и не переваренных.

Задача кристаллографа значительно упростилась бы, если теоретическая химия была бы более развитой

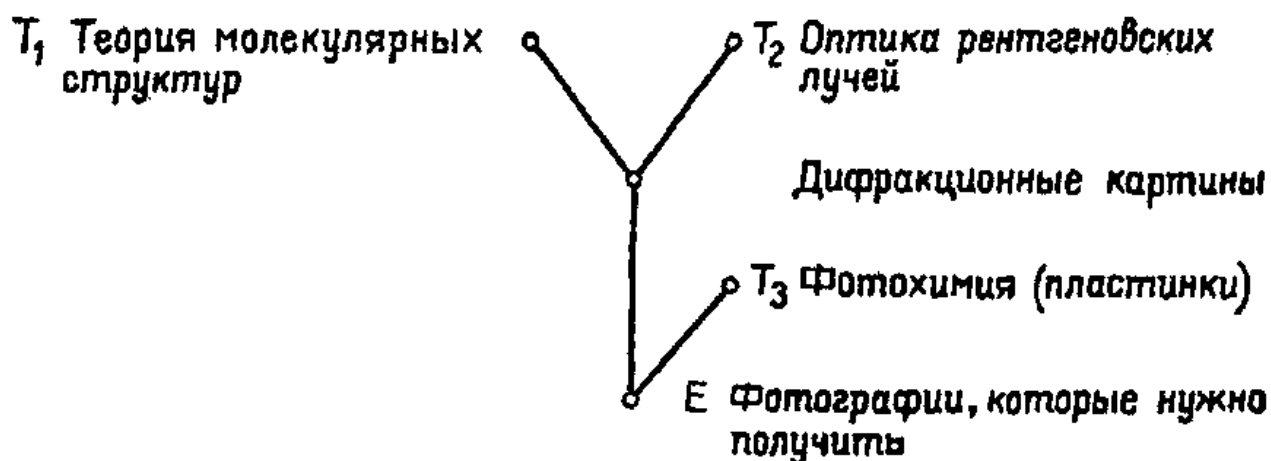


Рис. 6. Дифракционная картина рентгеновских лучей имеет смысл, если она может быть объяснена на основе модели кристалла и с помощью двух вспомогательных теорий, одна из которых объясняет природу рентгеновских лучей, другая — процесс почернения фотопластинки.

и можно было бы вывести все возможные конфигурации, удовлетворяющие данному множеству атомов. Такое детальное вычисление возможных конфигураций молекул требует в свою очередь четвертой теории — квантовой химии, существующей вот уже около четырех десятков лет, но все еще не совсем готовой к решению этой труднейшей задачи. Но когда эти трудности будут позади, то логическое древо на рис. 6 дополнится ветвью, протянутой от квантовой химии к теории молекулярных структур T_1 . Разгадка «значения» многих в настоящее время таинственных рентгеновских картин зависит от дальнейшего развития теории, а не от более гонких наблюдений и измерительной техники,

3.2. Знание того, что мы измеряем

Инструкции относительно лабораторных операций иногда формулируются с помощью прагматического языка, который маскирует их теоретические основы, что можно проиллюстрировать на одном примере из классической физики.

Любое точное измерение включает в себя электрические измерения, которые в свою очередь содержат операцию сравнения электрических сопротивлений. Одним из стандартных средств, используемых для этого, является мостик Уитстона. Проектирование мостика Уитстона и операции с ним основываются на элементарной теории электрических цепей, основными законами которой являются законы Кирхгофа и Ома. Рис. 7

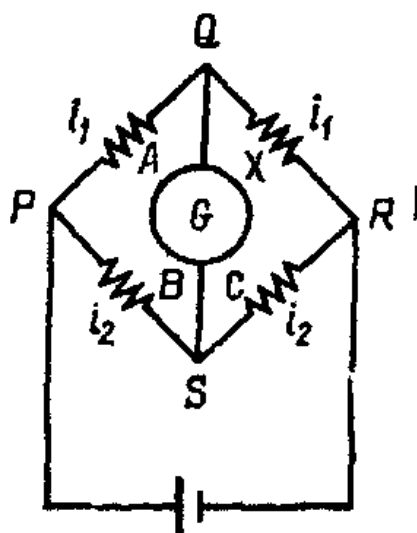


Рис. 7. Мостик Уитстона в комбинации с элементарной теорией цепей позволяет нам определить X из A , B и C .

непосредственно представляет теоретическую модель мостика Уитстона в состоянии равновесия, то есть когда через гальванометр не течет ток.

В этих условиях второй закон Кирхгофа дает

$$V_{PQ} - V_{PS} = 0$$

для левой ветви и

$$V_{QR} - V_{SR} = 0$$

для правой ветви. Соответственно и разности потенциалов по закону Ома равны

$$\begin{aligned} V_{PQ} &= Ai_1, & V_{PS} &= Bi_2, \\ V_{QR} &= Xi_1, & V_{SR} &= Ci_2, \end{aligned}$$

отсюда конечная формула

$$X = AC/B.$$

(Гальванометр G , соединяющий точки Q и S цепи, не фигурирует в данных формулах явным образом в качестве референта, так как он регистрирует отсутствие тока.)

Приведенные выше формулы могут быть суммированы в следующем *физическом утверждении*:

P: в одном из ответвлений мостика Уитстона существует некоторая точка S , где электрический потенциал имеет то же самое значение, что и потенциал в заданной точке другого ответвления.

Лаборант будет пользоваться следующим *операциональным утверждением*, которое переводит предшествующее высказывание на язык непосредственных действий:

O: если один из контактов гальванометра на мостике Уитстона *присоединен* к точке Q , *выбранной произвольно* на одном из ответвлений мостика, а второй перемещается вдоль другого ответвления, то *будет найдена* некоторая точка S , где указатель гальванометра придет в состояние покоя на нулевом делении шкалы, что мы и *увидим*.

(Слова, выделенные курсивом в данном предложении, несомненно, являются прагматическими терминами.) Возможно, лаборант будет удовлетворен таким операциональным определением *O*, но единственным подтверждением *O* будет предшествующее физическое (и теоретическое) утверждение *P*. Более того, именно утверждение *P* привело сэра Чарльза к изобретению мостика, носящего его имя. (Одно только наблюдение, что ток не течет через G , могло бы быть интерпретировано и иначе — как, например, указание на то, что данный измерительный прибор неисправен.) Вообще говоря, конечно, возможен повседневный опыт, независимый от какой бы то ни было теории; однако в науке любой точный опыт обязательно предполагает какую-то теорию, хотя само его описание может и не обнаруживать этой зависимости. Чем точнее эксперимент, тем сложнее обосновывающая его теория¹. Анализ двух процессов измерения, типичных для современной физики, подтвердит это утверждение.

¹ В. Levi, *Leyendo a Euclides*, Editorial Rosario, Rosario, 1947.

В простейшем случае, изученном философами, вероятности измеряются путем подсчета относительных частот. Однако столь же распространены и косвенные методы измерения вероятностей, то есть измерения, опосредованные теоретическими формулами. Хорошим примером служит здесь измерение интенсивности спектральных линий как указателей, или объективаторов, вероятностей переходов. (Относительно понятия указателя или переходной гипотезы см. § 2.5.) Связь между ними примерно такова. Чем более вероятен переход между двумя энергетическими уровнями, тем более интенсивной будет соответствующая спектральная линия. Если вероятность перехода высока, то наблюдается яркая линия, если вероятность такого перехода низка, то мы видим тусклую линию, а если вероятность равна нулю, мы не видим ничего. (Если вопреки данной теории мы не видим линию там, где она должна была бы присутствовать, то соответствующий переход называется запрещенным и в теорию вносятся соответствующие уточнения.)

Поскольку многие спектральные линии видимы невооруженным глазом, можно высказать утверждение, что, наблюдая какую-либо из них, мы в действительности наблюдаем вероятности переходов. Это можно сделать только при условии ясного понимания, что подобное наблюдение весьма отягощено теорией, причем настолько, что вне теории мы видели бы просто ярко окрашенные полосы. В конечном счете рассматриваемые переходы представляют собой квантовые скачки с одного энергетического уровня атома на другой, а вероятности вычисляются с помощью теоретических формул. Кроме того, экспериментатор должен спроектировать оборудование (источник света, дифракционную решетку, фотографические пластинки, инструмент для измерения длин волн и т. д.) в соответствии с несколькими теориями (особенно с оптикой). Последнее требует не только эффективной реализации условий, предполагаемых соответствующими теориями (например, расположения на равных расстояниях делений решетки), но и некоторых других предпосылок, которые невозможно исчерпывающе проконтролировать. Примером таких предпосылок могут быть следующие: температура дуги не должна

меняться от одной фотографии к следующей, изучаемые атомы должны поступать в поток с постоянной скоростью и они не должны слишком сильно поглощать свет, излучаемый их соседями. Коль скоро эмпирические данные собраны и проанализированы (критически отобраны и обработаны), теория готова к вычислению вероятностей переходов с помощью измеряемых величин. Формула, которую используют для вычисления подобных вероятностей на основании результатов измерений, — это уравнение Эйнштейна — Больцмана. Измеримыми величинами, встречающимися в этой формуле, будут температура и интенсивность света. Если первая может быть измерена с высокой степенью точности, то стандартное отклонение измеряемых значений интенсивности света даже на сегодня составляет не менее 30%. Вся процедура в целом столь сложна и включает так много неопределенностей, что первая исчерпывающая и надежная таблица «экспериментальных» вероятностей перехода в атомных спектрах была опубликована только в 1961 году в результате 30-летней коллективной работы¹.

3.4. Измерение вероятностей в ядерной физике

В ядерной физике вероятность некоторого события, такого, например, как ядерная реакция, в соответствии с существующей теорией (квантовой механикой) обычно задается полным поперечным сечением для этого события.

В полном сечении рассеяния угол рассеивания выпадает. Поскольку интенсивность рассеивания зависит от угла, то необходимо рассматривать дифференциальное сечение, или поперечное сечение на единичный угол и единичный интервал энергии — понятие более высокого уровня, служащее для определения полного поперечного сечения. В лаборатории дифференциальное сечение измеряют относительно лабораторной системы отсчета. Если это значение необходимо сравнить с теоретическими предсказаниями, то его следует преобразовать в значение для системы отсчета центра масс. Преобразованный таким образом результат измерения может быть по-

¹ W. F. Meggers, C. H. Corliss and B. F. Scribner, Tables of Spectral-Line Intensities, National Bureau of Standards Monograph 32, Washington D. S., 1961.

добен следующему (некоторый действительный результат, попавшийся на глаза в момент написания этих строк): «При угле $20^{\circ} 8'$ и энергии 156 MeV поперечное сечение протон-протонного рассеяния в системе отсчета, связанной с центром масс, равняется $3,66 \pm 0,11$ ». (Различные коллективы физиков получают значения, расхо-

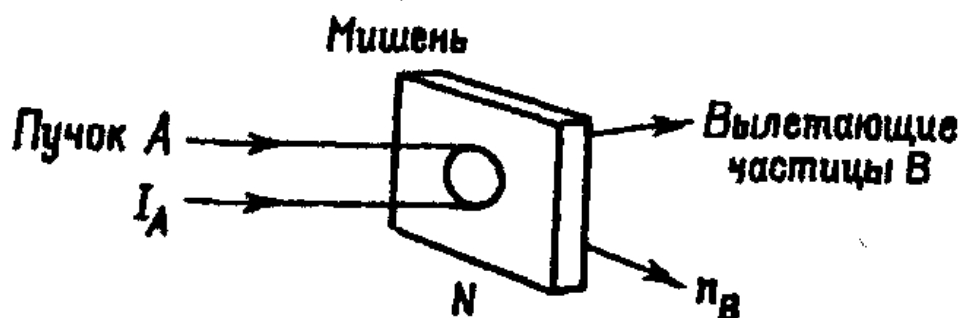


Рис. 8. Ядерная реакция $A \rightarrow B$. Число вылетающих частиц n_B соотносится с падающим потоком I_A по теоретической формуле: $n_B = I_A \sigma_{AB} N$, где σ_{AB} есть полное сечение для данной реакции, а N — число частиц мишени, подвергнутой воздействию пучка.

ящиеся в пределах 15%.) Вообще для рассеяния A частиц на B частицах при энергии E и угле θ_{cm} будем иметь утверждение следующего вида

$$\sigma(A, B, E, \theta_{cm}) = n \pm \epsilon,$$

где n есть некоторое (дробное) число, а ϵ — полная ошибка. Обратите внимание, как далек от чувственного опыта подобный результат. A и B обозначают виды частиц, которые невоспринимаемы: они объективируются с помощью инструментов, воплощающих в себе различные теории. Энергия E измеряется косвенным образом, а угол рассеяния θ_{cm} вычисляется из измеряемого угла. Наконец, ошибка ϵ получается с помощью статистики. В итоге экспериментальная процедура в целом оказывается пронизанной теоретическими идеями, а сама идея поперечного сечения рассеивания (отличного от геометрического поперечного сечения) не имеет никакого смысла вне микрофизики.

3.5. Эмпирическое свидетельство не является ни чисто эмпирическим, ни окончательным

Вопреки общераспространенному предрассудку науке мало пользы от чистых (неинтерпретированных, независимых от теории) данных и никакое эмпирическое

свидетельство само по себе не будет окончательным и определенным. Даже данные, собранные с помощью невооруженного глаза, не имеют значения, если они не могут быть введены в совокупность знания, и все они поэтому страдают неопределенностью. Один из археологов, который принимал участие в раскопках (1967) того, что могло оказаться легендарным Камелотом короля Артура, заявил как-то, что мог бы, *как он думает, просмотреть до шести и семи* различных слоев каменных руин, которым, если бы не легенда, он никогда не стал бы уделять внимания. В течение XIX века все астрономы *видели*, что туманности (наши современные галактики) были непрерывными (газообразными) телами, а не скоплениями звезд, какими их *видели* астрономы конца XVIII века. Но им не удалось увидеть то, что теперь каждый может *увидеть* лично, а именно черные пылевые облака (например, в кольцах спиральных галактик). Мы не сообщаем того, что мы видим не думая, но сообщаем скорее то, что мы *думаем* о том, что видим. Научное наблюдение отличается от наблюдений детей и от идеала эмпирической философии. Оно пронизано гипотезами и ожиданиями, иногда явными, иногда скрытыми. Даже обычное наблюдение определяется совместно и ощущением и мышлением. Экспериментальная психология установила, что одно и то же сенсорное раздражение может привести к различным восприятиям, тогда как при других обстоятельствах разные раздражения могут соответствовать одному и тому же восприятию¹.

Измерение не элиминирует неточности наблюдения, хотя анализ измерения в свете математической статистики может эту неточность оценить. В этом заключается цель вычисления стандартного отклонения от случайных ошибок наблюдения. Но не все ошибки являются ошибками такого рода. Кроме систематических ошибок, обусловленных проектированием лабораторного оборудования или манипуляциями с ним, надо считаться с возможными ошибками в теоретической части любого косвенного измерения. Так, до 1920 года размеры галактик оценивались примерно в десять раз меньше их действительных размеров. Подобным же образом в начале 1950-х годов

¹ D. O. Hebb, A. Textbook of Psychology, 2nd, ed. Philadelphia; W. B. Saunders, 1966.

все межгалактические расстояния были умножены на два, когда была найдена ошибка в предварительных вычислениях. Иногда, напротив, знают, что имеется какая-то ошибка в данных, и не могут установить, в чем она заключается. Так, не далее чем в 1967 году измеренные значения периода вращения Венеры простирались от 5 дней, определенных оптическим методом, до 244 дней, определенных с помощью радара¹.

В конечном счете не существует никаких твердых или жестких данных, а имеется лишь догматическая вера в их окончательный характер. Вся экспериментальная техника основывается на предположениях, которые должны быть проверены независимо, и практическое использование экспериментальной техники подвержено концептуальным заблуждениям и ошибкам восприятия, равно как и объективным случайным вариациям как в объекте исследования, так и в используемом инструменте. В общем, эмпирические данные являются не более определенными, чем связанные с ними теории. Однако и те и другие можно корректировать.

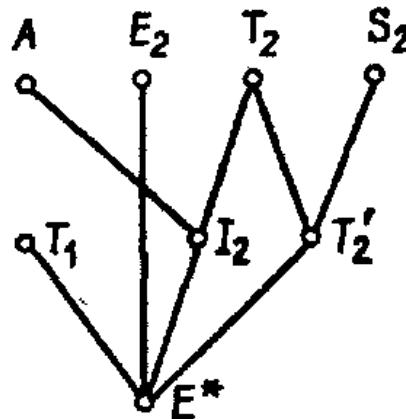
3.6. Общая схема

Любая эмпирическая операция предполагает некоторую совокупность предварительного знания A . Эта совокупность включает, в частности, множество данных E_2 и массу фрагментов различных теорий T_2 . Хотя в иных ситуациях E_2 и T_2 уязвимы для критики, в данном эмпирическом исследовании они принимаются без каких-либо сомнений. Они рассматриваются как бесспорные авторитеты, сколь бы далеко от авторитаризма мы по своим убеждениям ни стояли. На основании A , и в частности T_2 , разрабатываются переходные гипотезы I_2 , которые позволяют экспериментатору объективировать ненаблюдаемые и, наоборот, интерпретировать показания приборов в теоретических терминах. Таким образом, A и T_2 содержат I_2 .

Следующий шаг состоит в том, чтобы спроектировать наблюдение или эксперимент, включающий гипотезы I_2 , исход которого может иметь отношение к проверяемой теории T_1 . (Конечно, существует плохо продуманное

¹ В. А. Smith, Science, 1967, vol. 158, p. 114.

экспериментирование, и именно по этой причине оно имеет незначительную ценность, но даже если оно вообще бесцельно, то все равно не может быть полностью изолировано от теории.) Экспериментальное устройство будет подразумевать ряд конкретных вспомогательных гипотез S_2 , фиксирующих теоретическую модель оборудования. Из S_2 и T_2 будут следовать определенные выводы T'_2 относительно функционирования оборудования во время выполнения экспериментальных



Р и с. 9. Необработанные данные E_2 приготавливаются и облачаются в теоретические термины с помощью предшествующего знания A , данной теории T_2 и данных моделей экспериментального оборудования S_2 , переходных гипотез I_2 и даже самой теории T_1 .

операций. Одним словом, T_2 и S_2 совместно содержат T'_2 .

Наконец необходимые операции выполнены. Назовем E_2 их исход, или, скорее, эмпирический протокол, очищенный и обработанный с помощью теории ошибок. Чтобы иметь смысл, E_2 должны быть прочитаны в терминах как теории T_1 , которую проверяют, так и вспомогательной теории T_2 . То есть из T_1 , T_2 (или, скорее, T'_2), I_2 и E_2 мы выведем множество данных, имеющих отношение к T_1 .

В итоге мы получим следующее дерево (см. рис. 9).

Построение теоретической модели S_2 оборудования

Выведение частных теорем

$$T_2 S_2 \vdash T'_2$$

Построение индикаторов

$$A_2, T_2 \vdash I_2$$

Перевод данных

$$E_2, I_2, T_1, T'_2 \vdash E^*$$

4. Четвертая стадия: теория встречается с опытом

4.1. Утверждения: теоретические и эмпирические

Теперь мы обладаем двумя множествами сравнимых высказываний: теоретических предсказаний T^* и эмпирических свидетельств E^* . Наша задача состоит в том, чтобы сопоставить их и вывести некоторые правдоподобные «заключения» относительно ценности независимой теории T_1 , частично ответственной за T^* . Но прежде чем приступить к этому, нам необходимо четко уяснить, что, хотя T^* и E^* сравнимы, тем не менее они не совпадают, ибо они являются различными по своему виду. Это следует подчеркнуть, принимая во внимание распространенную точку зрения, согласно которой T^* являются следствиями только T_1 , тогда как E^* также может содержаться в T_1 , во всяком случае, идеалом было бы равенство этих двух множеств. (Справедливости ради заметим, что современные теории индуктивной логики¹ рассматривают научную теорию не как изолированную гипотезу h перед лицом чисто эмпирического свидетельства e , они пытаются вычислить степень подтверждения h и вероятность условного предложения « $e \Rightarrow h$ » при совместно заданных эмпирическом доказательстве e и условном предложении « $h \Rightarrow e$ ». Но никаких реальных примеров, то есть примеров, взятых из научной практики, для этих условных предложений никогда не приводится, а эмпирическое свидетельство рассматривается как священное. Кроме того, не дается какого-либо метода для приписывания вероятностей высказываниям.)

Мы подчеркиваем, что T^* отличается от теории T_1 ; она выведена из T_1 совместно с определенной моделью (S_1), некоторыми данными (E_1) и переходными гипотезами (I_1). Аналогично E^* отнюдь не множество голых эмпирических утверждений, а совокупность интерпретированных исходов научных опытов. В противном случае оно не было бы сравнимо с T^* . Но тем не менее E^* и T^* находятся на разных уровнях. Не касаясь объекта самого по себе, любой член E^* относится к связанной паре:

¹ R. Carnap, *Logical Foundations of Probability*, University of Chicago Press, 1950; G. H. von Wright, *The Logical Problem of Induction*, 2nd. ed. Basil Blackwell, Oxford, 1957; I. Lakatos (ed.), *The Problem of Induction*, North-Holland, Amsterdam, 1968.

объект — опытная установка. (В копенгагенской интерпретации квантовой механики утверждается, что это справедливо для любого теоретического утверждения данной теории. Однако это неверно: а) теория может иметь дело с независимыми системами, то есть вещами, которые не связаны с какими-либо измерительными приборами, и б) никакая общая теория не может объяснить специфику любой мыслимой аппаратуры.) Измените аппаратуру или лучше экспериментальную установку в целом, и вероятным результатом будет новое множество E^* . Во всяком случае, T^* и E^* имеют разные основания. Последующий анализ сделает это различие очевидным.

Любое количественное предсказание представляет собой утверждение теории относительно значения некоторого «количества» (величины) Q реальной системы в определенном состоянии. Фактически система, описываемая данной теорией, не есть реальная вещь σ вида Σ , для объяснения которой предназначена теория, а является ее идеализированным наброском, или теоретической моделью m . (Действительно, m — это некоторая теоретическая модель данного референта в заданном состоянии.) В типичном случае Q будет действительной функцией, так что предсказание значения будет получено из

$$[1] \quad Q_s(m) = r,$$

где индекс s обозначает масштаб, который следует принять, в то время как значение r функции представляет собой некоторое действительное число. (Или лучше: Q — это действительная функция от топологического произведения множества моделей M на множество масштабов S .) До сих пор речь шла о теоретическом предсказании.

Экспериментатор же имеет дело с реальной вещью σ , с определенной экспериментальной техникой t , к которой он применяет некоторую последовательность действий a . (В микрофизике, как правило, имеют дело с ансамблями сходных систем, а не с индивидуальными системами. Но так бывает не всегда. Например, «наблюдаемыми» оказываются и индивидуальные ядерные реакции.) Результаты, получаемые экспериментатором, будут зависеть не только от вещи σ , но и от имеющихся в его распоряжении технических средств t и способов манипулирования

ими a . Точнее говоря, результат отдельного измерения, относящегося к величине Q , имеет следующую форму:

$$[2] \quad Q'_s(\sigma, t, a) = r'_a,$$

где r'_a вновь является числом (редко совпадающим с теоретическим значением r). (Или лучше: Q' — это действительная функция на множестве упорядоченных четверок $\Sigma \times S \times T \times A$.) Важно отметить, что измеренное Q' и теоретическое Q представляют собой совершенно *разные функции*. Не удивительно поэтому, что они редко имеют одни и те же значения (см. гл. 4, § 2.2).

Индивидуально измеренные значения обрабатываются затем с помощью математической статистики. Двумя наиболее важными итогами здесь являются стандартное отклонение (мера полной ошибки) и среднее значение, которое берется для оценки истинного значения. Утверждение относительно среднего Q' имеет вид

$$[3] \quad AV_{a \in A} Q'_s(\sigma, t, a) = r',$$

где индекс « $a \in A$ » означает, что среднее значение берется по некоторой совокупности измерений A . (В идеальном случае A бесконечно. Фактически — нет. Отсюда следует, что оно неустойчиво, но его флуктуации уменьшаются с возрастанием объема выборки.) Вообще r' будет отличаться от любого из индивидуальных значений [2].

Коль скоро среднее значение и ошибка подсчитаны, экспериментатор может пожелать еще раз вернуться к необработанным данным [2], с тем чтобы попытаться как-то оценить аномальные данные, то есть те из них, которые не укладываются в общую картину и которые, возможно, его беспокоят. «Паршивыми овцами» будут все те значения, которые лежат за границами, принятыми в качестве критерия оценки. Если аномалий слишком много, то нужно произвести критическую проверку самой экспериментальной процедуры. Экспериментатор может обнаружить, что некоторые из его предположений были неоправданными, например обнаружить, что вопреки предположению каждый акт измерения оказывал влияние на последующий, то есть не было выполнено условие статистической независимости. Во всяком случае,

экспериментатор критически относится к своим результатам. Он проверяет их как в свете методологической теории (математической статистики), так и в свете основной теории (например, механики). И теоретику не следовало бы утверждать (как это делают представители Копенгагенской школы), что его предсказания относятся к измеряемым величинам, ибо он в общем случае не знает ни того, какая будет использована экспериментальная техника, ни того, какова будет последовательность манипуляций с ней.

4.2. Конфронтация

Выше мы все время старались подчеркнуть, что T^* и E^* разделены пропастью. Теперь мы попробуем перебросить между ними мост. Допустим, что E^* имеет отношение к T^* , ибо в противном случае мы можем столкнуться с парадоксом подтверждения. Такое предположение открывает лишь две возможности: либо E^* согласуется с T^* , либо нет. Согласие здесь означает нечто меньшее, чем идентичность, и нечто большее, чем совместимость. Любое качественное предсказание, например такое: «рассеиваемый пучок частиц будет поляризован», может считаться подтвержденным, если пучок действительно окажется поляризованным хотя бы всего лишь частично. Но если предсказание количественное, как в случае с утверждением, что «степень поляризации рассеиваемого пучка частиц будет p (определенное число между 0 и 1)», то необходимо совсем другое условие истинности. Таким условием, молчаливо принимаемым в физике, видимо, будет следующее. Пусть выражение

$$[4] \quad p : P(t) = x$$

будет теоретическим предсказанием, касающимся модели t вещи σ в определенном состоянии, и пусть

$$[5] \quad e : P'(\sigma, t) = y \pm e$$

будет исходом ряда измерений P , производимых над реальной вещью σ с помощью техники t . Теоретическое значение величины равно x , среднее значение измеряемых величин равно y , а статистический разброс этих величин равен e . О теоретическом предсказании p и эмпирических данных e можно сказать, что они эмпирически эквивалентны только в том случае, если теоретиче-

ское значение x и экспериментальное (среднее) значение y различаются (по абсолютной величине) на величину, меньшую, чем экспериментальная ошибка e (допустимое отклонение согласуется заранее). Короче¹,

$$[6] \quad E_q(p, e) =_{df} |x - y| \ll e.$$

Точное значение данного неравенства будет зависеть от состояния экспериментальной техники. О любом теоретическом и эмпирическом утверждении можно будет сказать, что они *согласуются* друг с другом, если, и только если они эмпирически эквивалентны. Ясно, что тождество есть частный случай согласованности.

Если «подавляющее большинство» данных E^* согласуется с теоретическими предсказаниями T^* , то мы заявляем, что теория T_1 *подтверждается* этим частным множеством данных. Отметим, во-первых, что мы не требуем согласования всех без исключения данных с соответствующим предсказанием потому, что бывают данные, весьма далекие от предсказаний, которые обычно отбрасываются. Однако нужно всегда быть готовыми к тому, что некоторые «паршивые овцы» могут на самом деле как-то отражать реальное положение вещей. Заметим также, что относительно теории, подвергаемой проверке, говорят, что она должна быть подтверждена определенным множеством данных, а не просто подтверждена. Это напоминание о том, что эмпирические проверки, даже излишне подробные, никогда не бывают исчерпывающими. В-третьих, отметим, что мы не определили точно, насколько сильно E^* подтверждает T^* . В реальной науке степени подтверждения не вычисляются. Обычное понятие подтверждения является сравнительным, а не количественным.

Предположим, с другой стороны, что E^* не согласуется с T^* , то есть имеется достаточно заметное подмножество $E'^* \subseteq E^*$ данных, которые не соответствуют теоретическим предсказаниям T^* . Согласно индуктивистам и рефутационистам, мы должны были бы в таком случае отвергнуть предсказания T^* , а также теорию T_1 , ибо, по их взглядам, несогласованность с экспериментом проверяет теорию и вынуждает нас отказаться от нее. Но в реальной научной практике так не поступают. В реальной науке не принимают безоговорочно неблаго-

¹ M. Bunge, *Scientific Research*, 1967.

приятные свидетельства, а подвергают их тщательному критическому исследованию, так как любые данные могут быть искажены рядом факторов. Часто случается, что неблагоприятные свидетельства E'^* отвергаются либо потому, что они несовместимы со старыми теориями, правильность которых не вызывает сомнения, либо потому, что они были получены на плохой экспериментальной установке.

Если E'^* отбрасываются, то для проверяемой теории T_1 существуют две возможности. Если T_1 — надежно установленная теория, то мы будем продолжать пользоваться ею, памятуя в то же время об аномальных E'^* , ибо в конце концов, возможно, будет доказано, что они вовсе не ложные. Если, с другой стороны, T_1 еще не доказала свою ценность и пригодность, то в случае неопределенности, вызванной неблагоприятными свидетельствами, нам следовало бы не торопиться с утверждениями относительно истинности теории T_1 и подождать новой совокупности более надежных эмпирических доказательств.

Отрицательный исход E'^* следовало бы принять, если вспомогательная теория T_2 имеет независимое подтверждение, если весь замысел эксперимента критически проанализирован и данные не являются изолированными, такими, которые могут быть отброшены согласно эмпирическим правилам математической статистики. Однако принятие неблагоприятного свидетельства E'^* , которое обязывает нас отвергнуть предсказания T^* , не влечет за собой опровержения основной теории T_1 . В самом деле, для того чтобы вывести предсказания T^* , помимо теории T_1 , был использован и ряд других предпосылок: дополнительные гипотезы S_1 (включающие эскизную модель исследуемого объекта), переходные гипотезы I_1 и данные E_1 .

Мы сталкиваемся здесь с тем, что называется *проблемой Дюгема*: дано множество предпосылок, содержащих множество выводов, опровергаемых (в значительной степени, если не полностью) опытом. Задача в том, чтобы найти подмножество предпосылок, ответственное за эту неудачу, с целью заменить его более адекватными предпосылками. Эта проблема, видимо, более важна, чем проблема изобретения и вычисления степеней подтверждения.

По мнению Дюгема¹, если теория расходится с данными, то можно применить две в равной мере законные процедуры. Первая состоит в том, чтобы попробовать спасти центральные гипотезы теории с помощью добавления некоторых вспомогательных предположений относительно либо референта теории, либо экспериментальной установки. Второй выход — корректировать некоторые или все основные гипотезы без всяких сомнений, что именно корректировать в первую очередь и в каком смысле. Ясно, что рационалисты и конвенционалисты будут рекомендовать первый путь, тогда как сторонники эмпиризма предпочтут второй. В любом случае перспектива выглядит довольно мрачно.

Предшествующий анализ путей выведения предсказаний T^* (см. § 2) подтверждает сложность проблемы Дюгема, но в то же время он наводит на мысль, что решение возможно в каждом случае, если тщательно рассмотреть список соответствующих предпосылок. Ибо если неблагоприятное эмпирическое свидетельство принимается как надежное, то вновь появляются две возможности: либо T_1 уже достаточно апробирована, либо мы имеем дело с всецело новой теорией. В первом случае мы временно сохраним T_1 и подвергнем тщательной критической проверке остальные предпосылки, ответственные за предсказания T^* . Когда теория T_1 таким образом испытывается, то из всех предпосылок данные E_1 и переходные гипотезы I_1 не подвергаются сомнению, поскольку хотя они и подвержены ошибкам, но обычно уже бываю проверены ранее. Следовательно, наиболее вероятные ошибки должны находиться среди вспомогательных предположений S_1 , будь то теоретическая модель или упрощающие предположения. В таком случае следовало бы начать с ослабления последних и/или с модификации (обычно в смысле дальнейшего усложнения) теоретической модели. И только после безуспешных проб многих и весьма разнообразных моделей мы должны обратить свои сомнения на теорию T_1 . Так, среди современных классических теорий жидкостей, которые разрабатывают теоретики, предлагаются все более и более сложные модели структуры жидкости, в то время

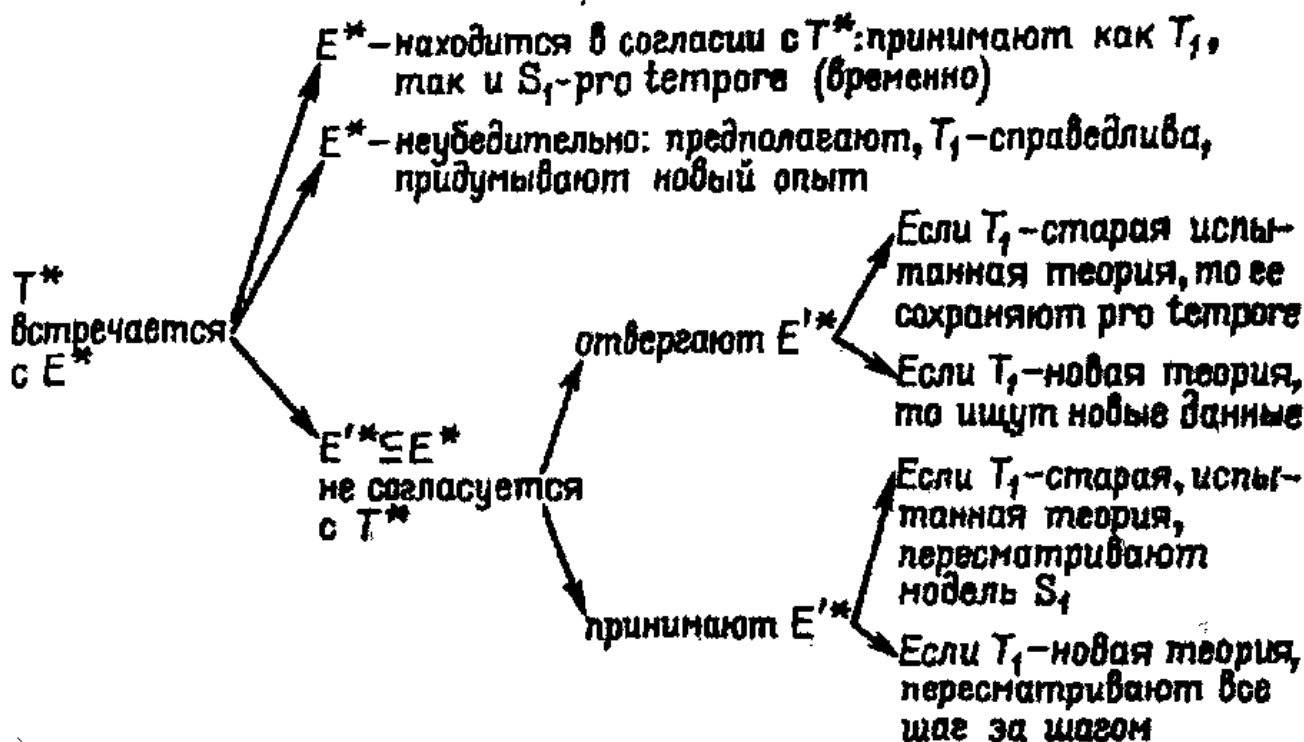
¹ П. Дюгема, Физическая теория, ее цель и строение, СПб, 1910.

как законы движения и вся схема классической механики в целом остаются в сохранности.

С другой стороны, если испытываемая теория T_1 новая, или почти новая, то следует проверить как T_1 , так и S_1 . Однако сомнительные предпосылки имеют разные основания. Чем более они специфичны, тем более вероятно, что они ошибочны, так как они более случайны, а поэтому имеют меньше шансов уцелеть при проверке. Поэтому имеет смысл вначале поставить под сомнение вспомогательные предпосылки S_1 , в частности теоретическую модель и наиболее специфические аксиомы теории T_1 . Наиболее общими постулатами теории T_1 будут те, которые данная теория разделяет вместе с несколькими другими теориями, и менее всего вероятно, что они будут нуждаться в реформе, по крайней мере в отношении той области, где они получили подтверждение в прошлом. Если обнаруживают, что такие крайне общие и глубокие предположения оказываются неудовлетворительными, то в реформе, видимо, нуждаются целые системы теорий. Но так или иначе, а поиск ошибки не следует вести наугад. Необходимо начинать с более новых и более узких предположений и идти к более старым и широким. Любая аксиоматизация такой сомнительной теории была бы в этих поисках крайне полезной, ибо тогда все предпосылки и предположения данной теории экспонировались бы для всеобщего обозрения. Конечно, такая аксиоматическая организация теоретического материала будет практически полезна, если будут ясно выделены три вида предпосылок (предположения, общие, а также специфические постулаты) (см. гл. 7 и 8). Затем надо приступить к последовательной замене специфических предположений, наблюдая за тем, какое действие окажет подобное изменение на проверяемые следствия предсказаний T^* . В конце концов придут к новой совокупности теоретических предсказаний T^* , которая будет полностью согласовываться с эмпирическим доказательством E^* , или по крайней мере со значительной частью его. Эта реорганизационная работа может выявить кое-что новое — например, новую теоретическую модель, и/или несколько иную теорию, или, более того, совсем новую теорию, или даже полностью иной подход к построению теории. Критический анализ теорий в духе конструкти-

визма, то есть попытка построить лучшие теории, является одним из наиболее многообещающих путей познания, который одинаково игнорируется и догматиками и скептиками.

В итоге если эмпирическое доказательство E^* имеет отношение к множеству теоретических предсказаний T^* , то процесс сопоставления выглядит так:



6. Заключение

Если предшествующий анализ по существу верен, то нам следует отказаться от широко распространенного мнения, что любая теория предстает перед судом эксперимента без всяких посредников, и это надо сделать, во-первых, потому, что для описания конкретных наблюдаемых фактов теория должна быть дополнена некоторой информацией, определенной моделью и совокупностью гипотез, связывающих ненаблюдаемое с наблюдаемым. Во-вторых, потому, что суд эксперимента в свою очередь основан на теории, дополнительной модели (эмпирической установки) и некоторых переходных гипотезах. Короче говоря, проверяемая теория требует дополнительных гипотез и прошлого опыта, точно так же как и новые данные проверяют эту теорию с помощью некоторых предшествующих теорий и дальнейших спе-

циальных гипотез. Не одними лишь фактами живы теории, так же как и данные не являются достаточными сами по себе. По этой причине они оказываются сравнимыми и взаимоконтролируемыми.

Следовательно, утверждение индуктивистов о том, что любая теория в принципе должна была бы *содержать* те же самые данные, из которых она была получена, является ошибочным. Не только не существует научных теорий, построенных из чистых данных, но и теории сами по себе не содержат каких-либо данных. Поэтому теории не могут иметь какого-либо эмпирического содержания. Только об отдельных изолированных гипотезах, таких, как закон преломления света Снеллиуса и закон свободного падения тел Галилея, можно было бы сказать, что они приводят с помощью простой конкретизации к любому числу данных, если к ним добавить по крайней мере один вид эмпирической информации и если при этом полностью игнорировать глубокое различие между теоретическими и эмпирическими утверждениями. Но теории, к которым принадлежат эти две гипотезы (волновая оптика и классическая теория гравитации), не могут быть проверены столь непосредственно. Иными словами, условное предположение $h \ \& \ e_1 \Rightarrow e_2$, которое имеет определенный смысл для гипотез низкого уровня, не может быть экстраполировано в область теорий. Что же касается условного предложения $e \Rightarrow h$, то оно не имеет смысла для научных гипотез и еще меньше для научных теорий, поскольку из любого множества данных гипотеза не может следовать уже потому, что она может содержать предсказания, которые в этом множестве обнаружить невозможно. Однако большинство систем индуктивной логики ставят своей целью оценку степени подтверждения (или логической вероятности) условных предложений этого вида. Становится ясным, почему подобные теории не имеют никакого отношения к науке. Мы можем добавить, что до сих пор индуктивная логика по существу не занималась проблемой построения разумной меры степени подтверждения количественных теорий, сосредоточивая внимание на случайных гипотезах. Но даже здесь она терпит неудачи. Это говорит, конечно, не о призрачности цели индуктивной логики, а просто о том, что перед нами стоит задача по-

строения систем индуктивной логики, имеющих действительное отношение к науке.

Второй вывод состоит в том, что едва ли может существовать какое-либо *решающее* доказательство за или против научной теории. Множество данных может иногда недвусмысленным образом подтверждать или опровергать отдельные гипотезы, но оно является гораздо менее мощным по отношению к теории. Если теория и опыт согласуются в определенной области, то есть если первая подтверждается, то это еще не указывает с полной определенностью на истинность теории. Это может указывать, например, что теория нечетко сформулирована, а данные собраны небрежно, причем так, что ошибки скомпенсировались. Аналогично и расхождение теории и эксперимента не всегда может быть интерпретировано как явное опровержение теории. Если в случае отдельных качественных гипотез (охотно рассматриваемом как индуктивистами, так и их критиками) границы между подтверждением и опровержением могут быть ясно очерчены, то они во многом стираются в случае количественных теоретических предсказаний. Это говорит не о том, что научные теории невосприимчивы к опыту, а, скорее, о том, что процесс их эмпирической проверки есть сложное и запутанное дело. С этой точки зрения убедительные и ясно выраженные, то есть аксиоматические, формулировки теорий являются более ценными, ибо в них легче осуществлять контроль над предпосылками. Сложный и часто неубедительный характер эмпирической проверки повышает значимость неэмпирических проверок, которые являются окончательными для глобальной непротиворечивости всей совокупности научного знания.

Индуктивизм и рефутационизм в таком случае неадекватны, ибо и тот и другой ограничивают себя отдельными гипотезами, пренебрегают теоретической моделью, которая должна быть присоединена к общей теории для выведения проверяемых следствий, оба предполагают такие догматы, как: (а) все дело только в эмпирической проверке и (b) исход таких проверок всегда ясен. Но неудача доминирующих в настоящее время систем и школ философии науки не должна толкать нас в объятия конвенционализма или каких-либо других философских выражений цинизма. Мы имеем право надеяться,

что некоторые из наших теорий внутренне и внешне непротиворечивы и содержат по крайней мере зерно истины, хотя, может быть, мы и не в состоянии уверенно проверить какие-либо их свойства. Эта надежда — не слепая вера. Она основывается на рабочих качествах наших теорий, на их проверенной способности совмещаться с другими теориями, решать старые и новые проблемы, предсказывать новое и делать новый опыт не только возможным, но также и осмысленным.

В итоге можно сказать, что теория и эксперимент никогда не сталкиваются лицом к лицу. Они встречаются на некотором находящемся между ними уровне, для чего и нужны дополнительные теоретические и эмпирические элементы, в частности теоретические модели как рассматриваемой вещи, так и экспериментальной установки: Даже в таком случае эмпирические проверки не всегда окончательны и не позволяют нам обойтись без неэмпирических проверок. Насколько все сказанное верно, настолько и доминирующие школы и направления философии науки оказываются неадекватными. Мы должны начать снова, придерживаясь больше реальных научных исследований, а не философских традиций.

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|-----|
| Предисловие автора | 15 |
| Глава 1. Философия: маяк или ловушка | 17 |
| Глава 2. Основания: ясность и последовательность | 36 |
| Глава 3. Физическая теория — общий обзор | 51 |
| Глава 4. Референты физической теории | 78 |
| Глава 5. Квантовая механика в поисках своего референта | 130 |
| Глава 6. Аналогия и дополнительность | 155 |
| Глава 7. Характер аксиоматики | 183 |
| Глава 8. Примеры аксиоматики и ее преимущества | 215 |
| Глава 9. Система теорий | 253 |
| Глава 10. Граница теории и эксперимента | 297 |

Издательство УРСС

специализируется на выпуске учебной и научной литературы, в том числе монографий, журналов, трудов ученых Российской Академии наук, научно-исследовательских институтов и учебных заведений.



Уважаемые читатели! Уважаемые авторы!

Основываясь на широком и плодотворном сотрудничестве с Российским фондом фундаментальных исследований и Российским гуманитарным научным фондом, мы предлагаем авторам свои услуги на выгодных экономических условиях. При этом мы берем на себя всю работу по подготовке издания — от набора, редактирования и верстки до тиражирования и распространения.

Среди вышедших и готовящихся к изданию книг мы предлагаем Вам следующие:

- Пенроуз Р.* **НОВЫЙ УМ КОРОЛЯ.** О компьютерах, мышлении и законах физики.
Карнап Р. **Философские основания физики.** Введение в философию науки.
Поппер К. Р. **Объективное знание.** Эволюционный подход.
Койре А. **Очерки истории философской мысли.**
Рейхенбах Г. **Философия пространства и времени.**
Рейхенбах Г. **Направление времени.**
Уитроу Дж. **Естественная философия времени.**
Грюнбаум А. **Философские проблемы пространства и времени.**
Джеммер М. **Понятие массы в классической и современной физике.**
Эддингтон А. **Пространство, время и тяготение.**
Овчинников Н. Ф. **Методологические принципы в истории научной мысли.**
Майданов А. С. **Процесс научного творчества: Философско-методологический анализ.**
Сачков Ю. В. **Научный метод: вопросы и развитие.**
Новиков А. С. **Научные открытия: повторные, своевременные, запоздалые.**
Пригожин И. **От существующего к возникающему.**
Малинецкий Г. Г. **Хаос. Структуры. Вычислительный эксперимент.**
Эбелинг В., Энгель А., Файстель Р. **Физика процессов эволюции.**
Грин Б. **Элегантная Вселенная. Сувереструны и поиски окончательной теории.**
Серия «Синергетика: от прошлого к будущему»

- Малинецкий Г. Г., Потапов А. Б.* **Современные проблемы нелинейной динамики.**
Капица С. П., Курдюмов С. П., Малинецкий Г. Г. **Синергетика и прогнозы будущего.**
Баранцев Р. Г. **Синергетика в современном естествознании.**
Баранцев Р. Г. и др. **Асимптотология — путь к целостной простоте.**
Чернавский Д. С. **Синергетика и информация (динамическая теория информации).**
Трубецков Д. И. **Введение в синергетику. Т. 1: Колебания и волны.**
Трубецков Д. И. **Введение в синергетику. Т. 2: Хаос и структуры.**
Пригожин И., Стенгерс И. **Время. Хаос. Квант. К решению парадокса времени.**
Пригожин И., Стенгерс И. **Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой.**
Пригожин И., Николис Г. **Познание сложного. Введение.**
Пригожин И., Гленсдорф П. **Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций.**

По всем вопросам Вы можете обратиться к нам:
тел./факс (095) 135-44-23, 135-42-46
или электронной почтой URSS@URSS.ru
Полный каталог изданий представлен
в Интернет-магазине: <http://URSS.ru>

Издательство УРСС

*Научная и учебная
литература*

Настоящая книга
написана известным
канадским ученым,
специалистом
в области философии
естествознания,
профессором Марио
Бунге. В ней широко
освещаются многие
современные проблемы
философии, методологии
и оснований физики.
Автор говорит о том, чем
является философия для
физики, как следует
вводить основные
понятия физической
теории, в чем заключается
использование
аксиоматики в физике,
о соотношении между
собой физических теорий,
теории с экспериментом,
а также рассматривает
многие другие вопросы,
с которыми сталкиваются
в своей повседневной
работе и исследовании
и преподавании

ИЗДАТЕЛЬСТВО **УРСС**
НАУЧНОЙ И УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ



E-mail: URSS@URSS.ru
Каталог изданий
в *Internet*: <http://URSS.ru>
Тел./факс: 7 (095) 135-44-23
Тел./факс: 7 (095) 135-42-46

2038 ID 15420



9 785354 004393 >

интернет-магазин
OZON.RU



13513389