

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

100.7

О НЕКОТОРЫХ ГНОСЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМАХ ФИЗИКИ**С. Г. Суворов**

I. Взгляды Е. Вигнера на проблемы познания. II. Физика и объективный смысл законов природы. III. Объективный смысл теорий. IV. Об основаниях эффективности математики. V. Заключение. Постскриптум.

В мартовском выпуске УФН за 1968 г. опубликован перевод лекции Е. Вигнера, посвященной некоторым проблемам познания и особенно обсуждению вопроса о том, почему математика столь эффективно применяется в физике*). Хотя эта лекция состоялась несколько лет назад, она дает представление о взглядах, которых придерживаются некоторые теоретики за рубежом. Поскольку эти взгляды стали достоянием советской научной общественности, нам представляется необходимым высказать некоторые критические соображения по затронутым вопросам. При этом мы отнюдь не собираемся входить в обсуждение специальных исследований Вигнера. Разработка им проблем инвариантности, успешное применение теории групп в квантовой механике и другие специальные работы принесли ему Нобелевскую премию и сделали его имя авторитетным. Однако и здесь повторяется старая история, отмеченная еще Лениным: достижения в специальной области еще не гарантируют научной обоснованности философских позиций ученых. Но как бы ни оценивать философские взгляды Вигнера, нельзя не считаться с тем, что его попытка опереться на собственный опыт физика создает у некоторых читателей впечатление их обоснованности и даже новизны. Неслучайно философские статьи Вигнера широко публикуются и в некоторых кругах встречают поддержку. Это обязывает к внимательному рассмотрению их.

Критическая работа мало благодарна и сама по себе нас не привлекает. И в данном случае нас больше интересует теоретическая сторона вопроса — возможность на основе анализа развития конкретных проблем физики, обсуждаемых и Вигнером, изложить иное понимание смысла законов природы, процесса становления научных теорий, обоснования познавательной роли математики и других проблем познания.

Мы выражаем надежду, что эти проблемы представляют общий интерес, и в их изложении видим оправдание настоящей работы.

I. ВЗГЛЯДЫ Е. ВИГНЕРА НА ПРОБЛЕМЫ ПОЗНАНИЯ

В своей лекции Е. Вигнер обсуждает общие вопросы теории познания. В ней настойчиво проводится одна идея: удивительно и непостижимо, как возможно познание, как возможна наука. Удивление выражается по поводу многих аспектов познания.

*) Е. Вигнер, Непостижимая эффективность математики в естественных науках (УФН 94 (3), 535 (1968); перевод В. А. Белоконоя и В. А. Угарова). Лекция прочитана Вигнером 11 мая 1959 г. в Нью-Йоркском университете в честь известного математика Рихарда Куранта вскоре после его семидесятилетия.

Так, Вигнер утверждает, что «невероятная эффективность математики в естественных науках есть нечто, граничащее с мистикой, ибо никакого рационального объяснения этому факту нет» (536)*). Удивляет его и особенность математических уравнений, дающих неожиданные результаты, которых «мы в них „не закладывали“» (542). Вызывают удивление лектора и сами физические теории, ибо «мы не знаем, почему так хорошо работают наши теории» (546), и то, что «разум человека смог связать воедино и без противоречий тысячи аргументов» (546).

Представляется ему удивительной и та нарисованная им картина, согласно которой физик часто дает своим наблюдениям довольно грубую математическую формулировку, которая тем не менее приводит в «неправдоподобно» многих случаях к «удивительно точному описанию большого класса явлений». Математическая формулировка выполнена в отношении идеализированной задачи, а затем неожиданно оказывается, что те же математические приемы применимы к более сложным реальным задачам. Во всех подобных результатах, которые расцениваются как чудо, которые, следовательно, логически не обоснованы, Вигнер видит «эмпирический закон эпистемологии (т. е. науки об основах познания)»; этот закон, по определению Р. Г. Сакса и самого Вигнера, есть не что иное, как «догмат веры физиков-теоретиков»; Вигнер утверждает, что он «представляет собой неотъемлемую часть теоретической физики» (543).

Необходимо разобраться в том, что же эти высказывания о непостижимости познания и апелляция к догмату веры — только случайные или даже «нарочито заостренные» иносказательные формулировки или это связанная гносеологическая концепция.

Рассмотрим взгляды Вигнера подробнее в некоторой последовательности.

1. Эстетические мотивы развития математики. Законы природы — условные утверждения. В соответствии с названием и целеустановкой своей лекции, Вигнер начинает изложение с обсуждения вопроса о силе и сущности математики. Хотя он и утверждает, что «невероятная эффективность» математики в естественных науках непостижима и граничит с мистикой, он все же пытается «выяснить роль математики в физике». С этой целью он обсуждает вопрос о том, что такое математика и что такое физика.

По Вигнеру, «математика является наукой изощренного манипулирования понятиями и правилами, придуманными как раз для этой цели» (536). Из контекста следует, что математика — наука о манипуляции понятиями, придуманными ради самой манипуляции**). Абстрактные понятия, которыми оперирует математик, строятся «как объекты, на которых математик может проявить свое остроумие и чувство формальной красоты» (536). Понятие комплексного числа, например, понадобилось математику для доказательства изящных теорем, относящихся к алгебраическим уравнениям, степенным рядам и т. п. «Свои понятия математики выбирают... из-за удобства манипулирования с ними» (540).

Таким образом, математические теоремы и теории развиваются из внутренней потребности математиков, и потребность эта — эстетического порядка; следовательно, эти теории целиком лежат в области субъективного мышления, они не имеют отношения к раскрытию объективной логики природы.

*) Цифры в скобках означают страницы в УФН (т. 94, вып. 3 (1968)).

**) В этом же духе Вигнер характеризует и философию, приводя неизвестно чьи слова, с которыми он солидаризируется: «Философия — это злоупотребление терминологией, придуманной как раз для этой цели».

Но в таком случае возникает вопрос: как может математика выражать законы природы, если последние определяются... лежащей вне нас природой? Именно такую ситуацию: а) субъективность математических теорем и теорий, б) объективность законов природы, в) эффективность математики в естественных науках — Вигнер считает удивительной и непостижимой. Разрешение этой проблемы он видит в пересмотре понятия «закон природы».

Анализируя это понятие, Вигнер прежде всего подчеркивает моменты относительности в законах природы: законы реализуются при определенных условиях; условия эти (например, начальные значения координат) не могут быть определены с абсолютной точностью; вероятностные законы не дают оснований для точных прогнозов, и т. д. Опираясь на эти бесспорные факты, Вигнер подводит читателя к выводу, что так называемые «законы природы» всегда представляют собой идеализацию, а характер идеализации устанавливается самим исследователем. *«Главная цель этих рассуждений, — заключает Вигнер, — подчеркнуть, что все законы природы — это весьма условные утверждения, имеющие поэтому отношение лишь к весьма малой части того, из чего состоит природа»* (539) (курсив всюду наш. — С. С.) *). Современная физика усугубила эту условность, показав, что «даже эти условные утверждения не могут быть абсолютно точными: условные утверждения являются лишь вероятностными законами, которые *позволяют нам заключать лишь мысленные пари относительно будущих свойств неживой природы на основании знания начального состояния*. Эти законы запрещают не только категорические утверждения о будущем, но даже и категорические утверждения о начальных условиях...» (539).

Итак, «все законы природы — это весьма условные утверждения». Эта формулировка повторяется Вигнером в нескольких мало отличающихся вариантах. Он не раскрывает здесь своего понимания природы, но, во всяком случае, мы не находим прямого отрицания ее объективности или утверждения, что сама природа есть создание нашей мысли. Повидимому, идея Вигнера более утонченная. В чем же состоит эта идея?

Попробуем рассмотреть это выражение как можно осторожнее, но обязательно в связи с другими положениями Вигнера. Предположим, что в эту формулировку вкладывается не гносеологический, а «филологический» смысл, и попытаемся эту фразу («все законы природы — весьма условные утверждения») понять в том смысле, что любая формулировка закона природы неявно предполагает невысказанную в этой формулировке *обусловленность* действия закона какими-то обстоятельствами. Такое утверждение было бы вполне рационально: физик действительно постоянно сталкивается с обусловленностью действия закона природы. Например, закон равномерного распределения энергии по степеням свободы справедлив лишь при достаточно высокой температуре, при которой не сказываются квантовые законы. Признание обусловленности действия закона природы вытекает из результатов всего развития науки.

Однако Вигнер стремится вовсе не к такой трактовке закона природы, называя его условным утверждением. Если бы он имел в виду идею обусловленности действия законов, то, во-первых, ничто не мешало бы ему выразить ее в явном виде. Во-вторых, обусловленность действия закона не исключает, а предполагает *объективность* закона, что доказывается уже фактом указания границ его действия и, следовательно, предполагает его принудительный для нас характер внутри этих границ. Но это

*) В оригинале стоит: «to a very small part of our knowledge of the world», т. е. «к весьма малой части нашего знания о мире».

вновь вернуло бы Вигнера к исходной ситуации, которую он считает удивительной и непостижимой, разрешения которой он и ищет путем изменения трактовки понятия «закон природы».

Это приводит нас к выводу, что формулировку Вигнера — «все законы природы — это весьма условные утверждения» нужно понимать в прямом смысле. Мы увидим в дальнейшем, что такой вывод находится в полном соответствии и с другими суждениями Вигнера — о критерии истинности теорий, о множественности теорий и т. п.

Чем же, однако, обосновывается такая трактовка законов природы? Очевидно, прежде всего тем, что законы природы формулирует человек, а так как он не может объять ее в ее бесконечных связях, он рассматривает природу в некоторых ограниченных аспектах («сечениях»), применяет различные степени идеализации, словом, применяет различные «способы рассмотрения». А способы рассмотрения зависят от человека, его опыта, интуиции, кругозора и т. п., и они определяют характер формулируемых «законов природы».

Именно эта возможность варьирования способа рассмотрения и, следовательно, варьирования формулировки законов, наряду с вероятностным характером всех измерений, служит у Вигнера основанием для определения законов природы как условных утверждений. Они уже не рассматриваются как внешнее принуждение, а субъективируются.

Это и позволяет физик-теоретик использовать математику для формулировки законов природы: всегда можно изменить способ рассмотрения природы, а тем самым и закон природы, и к новым формам закона подобрать («с первой или второй попытки») подходящий математический аппарат.

2. Физика и математика. Пути развития физики, по Вигнеру. Руководствуясь указанным выше пониманием математики и законов природы, Вигнер представляет развитие физики в следующем виде: «Когда физик обнаруживает взаимосвязь между двумя физическими величинами, которая напоминает связь, хорошо известную из математики, он немедленно приходит к заключению, что найденная им связь *тождественна* (курсив Вигнера. — С. С.) связи, рассмотренной в математике, *просто потому, что он не знает никакой другой*» (541). Это отождествление может и не оправдаться, это всего только проба, но Вигнер заранее предупредил читателя, что «физики — безответственные люди» и они идут на риск.

При этом совершается чудо: грубая прикидка физика неожиданно ведет к формулировке точного закона. Вигнер приводит и примеры того, как это выглядит на практике. Вот один из примеров, касающийся развития элементарной квантовой механики. «Начало ей положил Макс Борн, заметив, что *некоторые вычислительные приемы Гейзенберга формально совпадают* с правилами матричного исчисления, давно известными математикам. Тогда Борн, Иордан и Гейзенберг предложили заменить значения координат и импульсов классической механики матрицами». Таким приемом они решили несколько идеализированных задач. «Однако в то время нельзя было привести никаких разумных аргументов в пользу того, что разработанная ими матричная механика может оказаться корректной и в более реалистических условиях». Но тут произошло чудо: она оказалась применимой и к атому гелия. «Чудо произошло лишь тогда, когда матричная механика, или математически эквивалентная ей теория (Шрёдингера), была применена к задачам, для которых вычислительные правила Гейзенберга не имели смысла» (542). Физика, говорит Вигнер, «была бы невозможна без непрерывного повторения чудес, подобных чуду с гелием» (543).

3. Субъективизация критерия истинности теории. Множественность теорий. Поскольку математика и физика оперируют, по Вигнеру, идеализированными категориями мышления, условными понятиями и условными утверждениями, постольку в этой концепции не находит места объективный критерий истинности теорий. Вместо него выдвигается критерий субъективный. Это проявляется во многих аспектах.

Так, аргументируя в пользу своих суждений, Вигнер ссылается на «утверждение Эйнштейна, что единственным критерием для принятия физических теорий должна быть их красота» (541). Красота же, как известно, есть категория эстетическая.

Но потеряв объективный критерий истинности, физическая теория становится чем-то неопределенным и неоднозначным (речь идет о физических теориях, объясняющих одни и те же явления). Эту идею о неоднозначности теорий Вигнер подчеркивает еще в начале лекции. В уста своего студента он вкладывает вопрос: «Откуда известно, что нельзя — если обратить внимание на явления, которыми мы пренебрегали, и игнорировать те явления, которые сейчас являются для нас определяющими, — построить другую теорию, мало похожую на существующую, но объясняющую столько же явлений, сколько объясняет современная теория?». И Вигнер отвечает: «Следует признать очевидным, что *никто не может доказать невозможность такой теории*» (535). И далее еще более определенно: «Мы ниоткуда не можем узнать, единственна ли теория, сформулированная на языке наших математических представлений. Мы похожи на человека со связкой ключей, который пытается открывать одну дверь за другой, всегда находит правильный ключ с первой или второй попытки. Это заставляет его сомневаться относительно взаимно однозначного соответствия между ключами и замками» (536).

Такой вывод непосредственно вытекает из того, что нет никакого однозначного объективного критерия истинности теории; математика предоставляет в распоряжение физика связку ключей-теорий, и почти каждый ключ-теория открывает дверь — нужна лишь одна или две попытки. Это вполне согласуется со взглядом, что законы природы суть наши условные утверждения; они не являются для нас внешним принуждением, замок и ключ взаимно приспособляются друг к другу.

4. Теории более общие и теории менее общие («ложные»). В том же духе Вигнер обсуждает вопрос о теориях более общих и теориях менее общих. Он не уточняет их определения, а только сопоставляет их друг с другом: более общая теория дает более общую картину. Вопрос о том, откуда возникает более общая теория, в лекции не рассматривается; но из всего контекста видно, что она возникает не на основе обобщения менее общих теорий, ибо Вигнер указывает, что менее общая теория может противоречить более общей. В таком случае она является, по Вигнеру, заведомо ложной.

Но раз нет объективного критерия истинности теорий, в такой же мере ложной может оказаться и та теория, которую мы сейчас считаем более общей. Вигнер не избегает этого вывода: «Аналогично вполне возможно, что теории, которые мы считаем заведомо «доказанными» численными опытными проверками, достаточно многочисленными с нашей точки зрения, *все-таки ложны*, ибо противоречат более общей теории, которой *пока еще у нас нет*» (545).

Таким образом, по Вигнеру, *любая* теория, которой мы доверчиво пользуемся на данной стадии познания, возможно, на самом деле является ложной. И установить это заранее мы никогда не сможем.

Вигнеру, конечно, известно, что некоторые физики — и среди них крупные ученые, двигавшие вперед развитие современной физики, — руководствовались таким критерием истинности теории, как совпадение ее выводов с результатами экспериментов, как точность ее предсказаний. Но он исключает этот критерий. Вигнер утверждает, что и заведомо ложные теории, «ошибочность которых нам уже известна, дают удивительно точные предсказания» (545). Он приводит пример таких «ложных теорий», которые дают *пугающе (в силу их ложности) точное описание* некоторых групп явлений». Такова, например, теория свободных электронов, «которая дает загадочно точное описание многих, если не большинства, свойств металлов, полупроводников и изоляторов» (545).

Итак, заведомо ложная теория дает пугающе точное описание некоторых явлений! Из этого делается гносеологический вывод: «Теория свободных электронов внушает нам сомнения относительно того, должны ли мы безоговорочно принимать численное согласие между теорией и экспериментом как доказательство корректности теории» (546).

Но если нет объективных критериев истинности теорий, то неизбежно возникает вопрос: а в чем же состоит оправдание наших усилий по созданию теорий, каждая из которых имеет шансы оказаться ложной? Обсуждая возможность возникновения противоречий между будущей теоретической биологией и физической теорией, которые привели бы к тому, что «вера в наши теории была бы сильно подорвана», Вигнер говорит: «Довод в пользу принципиальной допустимости такой ситуации сводится к тому, что мы не знаем, почему так хорошо работают наши теории. Ибо их точность не может служить доказательством ни их истинности, ни взаимной согласованности» (546).

Таков безысходный вывод Вигнера. Он и сам сознает, что этот вывод чересчур пессимистичен. Он говорит о желании закончить лекцию «все же более оптимистично», и потому заключает: «Чудесная загадка соответствия математического языка законам физики является удивительным даром, который мы не в состоянии понять и которого мы, возможно, недостойны. Мы должны испытывать чувство благодарности за этот дар» (546).

Этот заключительный «оптимизм» не оправдан всеми предыдущими рассуждениями Вигнера. Он скорее звучит как благодарственный акафист таинственным силам, чуждый подлинному оптимизму ученого, последовательно и все более глубоко познающего объективно существующую природу.

* * *

Мы проделали конструктивную работу палеонтолога и убедились, что перед нами не случайные оговорки, не отдельные неудачные или «нарочито острые» формулировки, а целостная концепция. В ней все положения связаны друг с другом: свободное творение математических понятий и теорий, движимое эстетическими потребностями; субъективистский характер законов природы; отрицание объективного критерия истинности физических теорий; возможность множества неэквивалентных теорий одних и тех же явлений; представление о «ложных» теориях, однако точно описывающих явления; перспектива любой признанной теории превратиться в «ложную».

Необходимо рассмотреть, является ли вигнеровская трактовка познания обоснованной самим ходом развития познания.

II. ФИЗИКА И ОБЪЕКТИВНЫЙ СМЫСЛ ЗАКОНОВ ПРИРОДЫ

Концепция Вигнера вовсе не вытекает из результатов развития физики, классической и современной. Напротив, развитие физики, равно как и философского мышления, подтверждает другую теорию познания — теорию, исходящую из признания объективности законов природы и их отражения в наших теориях, опирающуюся на огромные успехи реального процесса познания.

С позиции этой теории познания нам и представляется необходимым рассмотреть проблемы, изложенные Вигнером *).

Эти проблемы можно разделить на три группы. Первая относится к вопросу о судьбе и роли законов природы в связи с развитием физики; вторая касается логического смысла теории, ее отношения к природе, критерия истинности, взаимосвязи последовательно углубляющихся теорий; наконец, третья группа проблем связана с раскрытием «секрета» эффективности математики. Все они тесно связаны друг с другом.

1. Физические теории XX века и законы природы. Физика в целом живет и развивается как сложный организм, в котором постоянно возникают новые теории, получают обобщение старые. Открываются закономерности нового типа (статистические, квантовые), развиваются и изменяются физические методы («способы рассмотрения»). Как все это сказывается на сформулированных физиками законах природы? Исчезают ли они бесследно по мере появления новых теорий, — что было бы естественным, если бы законы природы были условными утверждениями, — или же они сохраняются, преобразуясь по мере того, как физика переходит к раскрытию все более глубоких уровней природы? Сохраняется ли вообще понятие «закона» в связи с выявлением роли вероятности в предсказаниях? Зависит ли судьба законов от смены методов исследования?

Подобные вопросы постоянно возникали у физиков. В первые десятилетия нашего века было широко распространено суждение, будто новые физические теории опровергают все или почти все законы природы, открытые классической физикой. Вряд ли здесь нужны иллюстрации, они широко известны.

Однако если мы посмотрим, как развивались основные физические теории нашего века, мы увидим, что в них, наряду с развенчанием абсолютности некоторых понятий, неизменно выявлялась необходимость принятия существенных положений, с которыми физик был вынужден считаться как с внешним принуждением природы.

Когда была сформулирована теория относительности, многие физики больше обращали внимание на то необычное, что из нее вытекало, — на вывод, что нет линейного размера тела самого по себе, массы тела самой по себе, течения времени самого по себе. Согласно теории относительности, эти понятия получают определенный смысл только в определенных отношениях; в инерциально движущихся системах соответствующие им величины зависят от относительной скорости движения тела и системы. Эти выводы теории опрокидывали традиционные представления об абсолютности названных свойств. Тем физикам, которые наивно связывали материализм с признанием вне нас тел с абсолютными свойствами, ломка

*) При этом нам придется излагать и физические факты. Мы, конечно, не сомневаемся в том, что они хорошо известны и Вигнеру. Но дело в том, что когда даже крупный физик ставит задачу обоснования собственной гносеологической концепции, он в пылу конструктивного увлечения по-своему использует и физические факты. Мы же приводим их в обоснование другой концепции и имеем в виду широкий круг читателей.

этих представлений казалась крайне рискованной; против теории относительности и ее автора началась борьба, длившаяся несколько десятилетий.

Но критики теории относительности не увидели существенной стороны дела: *теория опиралась на объективные факты* — независимость скорости света от относительного движения источника, инвариантность ряда физических величин в инерциальных системах, в частности — на ковариантность максвелловых уравнений электромагнитного поля. Именно необходимость учета этих объективных фактов, неизменно проявляющихся в инерциальных системах, *принудила* физиков изменить представления об абсолютности ряда понятий.

Отвергла ли тем самым теория относительности саму идею об объективности законов природы, открытых классической физикой? Ни в коем случае! Более того, предметом теории относительности и является формулировка уже известных физических законов в соответствии со свойствами галилеева пространства, для которого справедливы преобразования Лоренца. В ней справедливы все десять интегралов движения, включая и интеграл энергии.

Конечно, законы классической физики в этой теории обобщаются. Например, классические законы сохранения энергии и сохранения массы обобщаются в единый закон сохранения массы-энергии в силу закона пропорциональности между массой и энергией. Этот последний закон, установленный теорией, стал основой для расчета энергетического выхода в ядерных превращениях — новой перспективной области современной энергетики. Точно так же получают обобщение классические законы сохранения импульса и кинетической энергии; в специальной теории относительности они образуют единый закон — закон постоянства четырехмерного вектора импульса.

Таким образом, теория относительности не только не отвергала известных ранее законов природы, но и прямо опиралась на них, как на законы *объективные* и обязательные, открывала новые законы, которые никак нельзя классифицировать как «условные утверждения».

В физике не раз бывало так, что законы природы, найденные в определенной области явлений, но имеющие характер всеобщности, оказывались надежным путем к раскрытию законов, специфических для вновь исследуемой области. Так было, например, когда Планк искал условия равновесного излучения абсолютно черного тела. Известно, что он опирался при этом прежде всего на термодинамический закон, согласно которому энтропия равновесного состояния должна быть максимальной. Действительно, этот закон сохранял свое значение и в новой области (хотя естественно, для раскрытия закона излучения он оказался недостаточным, и Планку пришлось прибегнуть еще и к формуле Больцмана, связывающей изменение энтропии с вероятностью, и к формальному вычислению «комплексий» по формуле Стирлинга). Рассматривая энтропию излучения в единице объема замкнутой области и используя ту же формулу Больцмана, Эйнштейн пришел (1905 г.) к знаменитому выводу о том, что энтропия ведет себя так, как будто излучение, по крайней мере для виновой области, состоит из отдельных квантов, энергия которых пропорциональна частоте. Именно отсюда последовал ряд идей, вошедших составной частью в квантовую механику. Таким образом, Планк и Эйнштейн действовали разумно, опираясь на термодинамические законы и в новой области исследования.

В области квантовых явлений ситуация оказалась аналогичной. Как и в случае теории относительности, при построении квантовой механики физики были вынуждены считаться с рядом «необычных», «непонятных»

фактов, каковы: дискретный спектр излучения атомов, комбинационный принцип в наборе излучаемых частот, «непонятная» связь энергии и импульса с частотой излучения и длиной волны; выявление в потоке света то преимущественно волновых, то главным образом дискретных свойств и т. д.

Физики были вынуждены считаться с этими «причудами» природы. Но они поняли, что на все эти явления природы нельзя смотреть как на «условные утверждения», и построили теорию, которая обобщила все непонятные факты, связала их в единой непротиворечивой логической системе.

Вместе с тем, при построении этой теории они должны были считаться не только с упомянутыми фактами, но и с рядом открытых ранее законов природы, которые тем самым обобщались на новую область атомных явлений. В квантовой области сохранили свое значение, например, законы сохранения энергии и импульса; в частности, с их помощью были объяснены закономерности рассеяния света на кристаллах. Существенную роль для дальнейшего раскрытия квантовых закономерностей сыграл планковский закон распределения энергии излучения по спектру. В работах 1909 г. Эйнштейн показал, что с этим законом находится в соответствии только такая формула флуктуации энергии светового поля, которая состоит из двух членов, один из которых отражает волновые, а другой — дискретные свойства излучения. Позднее (1916 г.), опираясь на этот закон, Эйнштейн обосновал статистическое распределение элементарных импульсов в игольчатом излучении атома.

В квантовой электродинамике исследуется превращение частиц одной природы в частицы другой природы. Существенно, что и в этих, необычных для классической физики, процессах отыскиваются объективные законы превращения. Они формулируются в теории симметрии. В этой области законы превращения значительно сложнее, чем в превращениях, рассматриваемых классической физикой: в формулировку их входят также и заряд, и изотопический спин, и странность, и другие характеристики. Но это не меняет гносеологического смысла проблемы: поиски законов превращений на уровне элементарных частиц. Можно сказать, что не все здесь выяснено до конца, теория еще находится в процессе становления, иногда встречаются неожиданные трудности. Но существенно то, что всегда находятся пути разрешения этих трудностей, укрепляется сознание того, что и в области элементарных частиц все происходит в соответствии с определенными законами природы.

Из сказанного следует, что новые физические теории, какой бы переворот в наших представлениях они ни производили, создаются как логическое обобщение фактов, навязанных природой теоретику; что они опираются на уже известные законы природы, обобщая их; при этом открываются и новые законы, углубляющие наше познание природы. Все это не оставляет места для трактовки законов природы как условных утверждений.

2. «Способы рассмотрения» и законы природы. На протяжении истории физики действительно имело место изменение «способов рассмотрения» одних и тех же явлений природы. Возьмем, например, гравитационное взаимодействие тел.

Почти две тысячи лет назад Птолемей обрисовал внешнюю картину движения планет и Солнца. Это была картина весьма сложных траекторий планет. Она не была выдумана, а явилась результатом наблюдений и измерений, и Птолемей мог утверждать, что он открыл закон природы. Пожалуй, можно было бы сказать, что этот пример — хорошая иллюстрация

мысли: «закон природы — весьма условное утверждение»; в нем особенно ясно, что птолемеев «закон природы» действительно определялся его способом рассмотрения.

Однако этот «закон» не вел к дальнейшему познанию, ибо «способ рассмотрения» в данном случае не выявил существенных объективных отношений в системе; он был слишком ей неадекватен (человек — центр системы). Поэтому наука отклонила «законы» Птолемея, а его исследования ныне вспоминают только историки.

Прошло свыше полутора тысяч лет, прежде чем Коперник, Бруно, Галилей и другие исследователи и мыслители нового времени преодолели птолемеев «способ рассмотрения» и нашли новый, сделав центром системы Солнце. Этот способ рассмотрения отличался от птолемеева тем, что он точнее отвечал реальным отношениям в солнечной системе. Он позволил Кеплеру открыть три закона, получившие его имя. Это было уже важное продвижение познания вперед.

Но законы Кеплера были связаны с объектом наблюдения эмпирически; не было доказательств их всеобщности, и даже не была ясна необходимость взаимной связи всех законов Кеплера. Они были результатом наблюдений, но не вышли за пределы кинематических отношений.

Ньютон пошел дальше. Его способ рассмотрения существенно отличался от кеплеровского. Прежде всего он распространил законы Кеплера на систему Земля — Луна и связал закономерность движения Луны по ее траектории с галилеевым законом равноускоренного падения тел к Земле (реальное движение Луны рассматривалось как результат ее непрерывного «падения» под влиянием притяжения Земли с возможной инерциальной траектории на действительную). Это потребовало формулировки принципа инерции и привело к установлению *динамических* связей. Благодаря этому был сформулирован *закон тяготения* и открылась возможность распространить его на все тела, обладающие массой. Законы Кеплера, отражающие кинематические связи движения небесных тел, теперь представились как естественные, взаимосвязанные следствия единого («всемирного») закона тяготения. Но, что еще не менее важно, установление динамических связей в задаче Ньютона привело к формулировке *общих законов механики*, которые легли в основу развития макротехники.

Бесспорен огромный результат, к которому привел способ рассмотрения Ньютона, даже если ограничиться при оценке только проблемами тяготения. Но оказалось необходимым преодолеть и этот способ рассмотрения.

Ньютон полагал, что силы тяготения суть силы дальнего действия и зависят они только от взаимодействующих масс и квадрата расстояния между ними. Казалось, что закон тяготения получил абсолютную форму. Правда, закон в этой форме еще не объяснял, например, такого факта, как вращение эллиптической траектории Меркурия в ее плоскости. Но точные вычисления на много лет вперед таких небесных явлений, как затмения, ступевывали этот «маленький» недостаток.

Вместе с тем, наряду с методом Ньютона уже после него стал разрабатываться и другой способ рассмотрения — с помощью представления о непрерывном поле, характеризуемом в каждой точке гравитационным потенциалом φ , связанным с силой тяготения, действующей на единицу массы в этой точке. В конце XVIII и в первой половине XIX века этот метод был детально разработан Лапласом, Пуассоном и другими; в частности, был выяснен характер связи гравитационного потенциала с плотностью масс (уравнение Пуассона).

Сначала казалось, что метод непрерывного гравитационного поля полностью во всех случаях эквивалентен методу действующих сил Ньютона и что его преимущество состоит лишь в том, что он облегчает вычисления при наличии многих тяготеющих масс. Однако позднее выяснилось, что метод потенциального поля допускает широкое обобщение, которое и было выполнено Эйнштейном. Идею о непрерывном поле Эйнштейн положил в основу своих исследований. Обобщая уравнение Пуассона и опираясь при этом на весьма общий закон природы — равенство массы тяготеющей и массы инерционной, — Эйнштейн вывел обобщенный закон гравитации. Вывод этого закона привел ко многим важным результатам. Оказалось, что закон тяготения Ньютона справедлив лишь при слабых полях, когда характеризующий поле параметр φ/c^2 мал; при сильных же полях этот закон является лишь приближением, а более точным выступает закон, сформулированный Эйнштейном. Закон Эйнштейна позволил объяснить также и особенности движения Меркурия. Но, пожалуй, наиболее важно то, что Эйнштейн показал связь гравитационного закона с геометрическими свойствами пространства-времени (его искривлением), зависящими от распределения масс, а это привело к истолкованию инерциального движения как движения по геодезическим кривым и к установлению взаимодействия гравитационного и электромагнитного полей (искривление луча света в сильном гравитационном поле).

Обобщение гравитационного закона Эйнштейном было большим прогрессом познания. Оно явилось следствием нового способа рассмотрения. Не подтверждает ли этот переход от одной формы гравитационного закона к другой взгляды на закон природы как на «весьма условное утверждение», зависящее от способа рассмотрения природы?

Отнюдь нет! Напротив, мы видим, что каждый последующий способ рассмотрения не отрицает результатов предыдущего, а оценивает их как частный случай более общего подхода. Способ рассмотрения природы становится все более обобщающим, приводит ко все более глубокому познанию природы, позволяя решать все более широкий круг задач, связанных с использованием природы.

Это означает, что в историческом развитии познания способы рассмотрения природы становятся все более ей адекватными. Они отнюдь не произвольны, не субъективны, а отражают лишь ступени нашего познания природы. Законы, которые мы при этом открываем, суть *объективные* законы, осуществляющиеся в самой природе. Привязка формулировки закона к способу рассмотрения не дает основания для провозглашения нового гносеологического положения: «законы природы — весьма условные утверждения».

Аналогичные выводы можно было бы сделать из анализа развития других физических проблем *).

3. Статистичность и законы природы. В качестве одного из доводов в пользу того, что законы природы — это условные утверждения, Вигнер ссылается и на то, что они имеют лишь вероятностный характер; поэтому они позволяют о будущих свойствах неживой природы заключать только мысленное пари. В этой концепции вся наука представляется как совокупность условных утверждений, как сплошное пари с надеждой на чудо.

Несомненно, что современная наука не может развиваться без учета статистических закономерностей. Их роль все возрастает с дальнейшим углублением науки во всех областях знания.

Однако вся деятельность человека вовсе не имеет характера пари. С огромной точностью производится сближение в космосе и стыковка

*) К вопросу о способах рассмотрения мы еще вернемся в гл. III, п. 6.

космических кораблей, хотя эти процессы направляются через длинную цепь разнородных взаимодействий, в каждом звене которой имеется свой разброс начальных условий. Цепной процесс в атомной бомбе протекает в соответствии с вероятностными законами; но взрывается атомная бомба в момент, который отличается (вследствие статистичности!) от заранее определенного конструктором на величину, не большую чем 10^{-8} сек, что вполне достаточно для достижения цели, поставленной в макроскопическом масштабе. Во всех случаях человек не держит никакого пари, а производит детальные расчеты.

Почему же этот непреложный факт результатов нашего познания не должен находить отражения в теории познания? Разве он не подчеркивает уже в крупном масштабе наличие связи вероятностных законов с законами, допускающими предсказание? Разве эту связь нельзя проследить в конкретном плане? Физика это делала неоднократно; особенно часто применял этот метод Эйнштейн, разрабатывая теорию броуновского движения, теорию излучения фотонов атомами. В частности, Эйнштейн установил, что характер поглощения и испускания фотонов атомом связан с *определенным* — и именно планковским — *законом распределения* плотности энергии теплового излучения. Эту взаимосвязь можно читать как в прямом, так и в обратном направлении. Современная физика раскрывает множество аналогичных связей статистических закономерностей с однозначно формулируемыми законами. Метафорически можно сказать, что наличие этой связи показывает, что сама природа интегрирует действия множества статистических элементов, образующих целостную систему. Эйнштейн это понимал, пожалуй, больше, чем кто-либо из его современников.

Для статистических закономерностей существен не вопрос о «траектории» отдельного элемента статистики, а закон распределения всех элементов по данному параметру, который и характеризует движение системы в целом. Конечно, если мы поставим вопрос о направлении движения *фотона*, испускаемого отдельным атомом при спонтанном переходе на более низкий уровень, то предсказание будет только вероятностным. Если угодно, это будет «мысленное пари» о движении фотона. Но такое пари не принесло бы пользы. Зато учет удельного веса статистических процессов определенного типа и их связи с законами системы в целом (в частности, с планковским законом излучения) привел Эйнштейна к выводу о том, что наряду с поглощением и спонтанным излучением должно иметь место вынужденное излучение (индуцированное внешним полем *). Как известно, существование этого излучения было подтверждено лишь спустя много лет и уже в наше время нашло практическое применение (квантовые генераторы). Отметим, что хотя результат взаимодействия атома и поля определяется, по Эйнштейну, статистическим соотношением соответствующих фаз, тем не менее из общего энергетического баланса вытекает, что энергия индуцированного излучения при данных условиях составляет в нем вполне определенную долю.

Знание статистических закономерностей имеет столь же важное познавательное значение, как и знание динамических закономерностей. Можно указать немало примеров, в которых именно статистические закономерности позволяют решать задачи со вполне удовлетворительной точностью — не по методу пари, а путем выявления в статистическом разбросе элементов некоторых параметров, характерных для этого разброса. Так математики решают задачу прогнозирования будущего положения самолета, по

*) Игнорирование индуцированного излучения приводит не к планковской, а к виновской формуле излучения.

которому ведется стрельба. Для этого они используют статистическое распределение возможных траекторий самолета (зависящих, в частности, и от воли летчика) и отыскивают такой метод прогнозирования, при котором некоторая величина, характеризующая ошибку, становится минимальной. Весьма важная, особенно в радиотехнике, задача о выделении полезного слабого сигнала из маскирующего его шума также решается на основе данных о различии статистических характеристик полезного сигнала и шума. Следовательно, статистические закономерности поддаются качественному и количественному определению и они не исключают самого понятия закона.

Мы не можем здесь останавливаться более подробно на этом глубоком и важном вопросе. Но и из сказанного следует, что статистические закономерности вовсе не произвольны, они характеризуют определенные связи в системах, поведение которых в известных условиях можно предсказать с определенной достоверностью, которые подчиняются однозначно определенным законам. Таким образом, рост значения статистических закономерностей в современной физике не превращает законы природы в «условные утверждения», не сводит науку к «мысленному пари», а, напротив, обогащает науку раскрытием новых закономерных связей. Природа исключает чуждый ей произвол, но она требует, чтобы ей задавали только умные вопросы. Еще Гегель отмечал, что «требуется известное развитие для того, чтобы уметь *задавать вопросы*, тем более относительно философских предметов, так как иначе может получиться ответ, что вопрос бессмыслен» (курсив Ленина). Ленин считал, что это «хорошо сказано» *).

4. Обусловленность реализации законов природы. Взаимосвязь законов. Создавая новые, все более глубокие теории, раскрывающие объективные связи в природе, современная физика внесла много нового в понимание природы самих законов. Так, физика выяснила, что законы природы не теряют объективного смысла и после установления относительности понятий, входящих в формулировку закона. И в новых теориях имеют место инвариантные соотношения преобразованных величин. Современная физика показала также ограниченность однозначно детерминированных связей, идеализации возможности абсолютно точных измерений (например, начальных значений координат) и т. д.

Несомненно обусловленность реализации законов природы. Физики встретились с ней, например, при переходе от макрофизики к микрофизике: действие некоторых законов классической физики оказались справедливыми в пределах, в которых можно пренебречь величиной кванта действия.

Обусловленность действия законов особенно важно учитывать при переходе к новой области исследования с необычными условиями, например, когда речь идет о формулировке гипотез, касающихся развития некоторых космических объектов, физические условия в которых, как стало уже известно, резко отличны от тех, с которыми наука встречалась до сих пор. Можно ли опираться в таких гипотезах на известные нам законы физики?

Обсуждая вопрос о превращениях веществ в космических объектах, в которых плотность меняется в миллиарды раз, а напряженность гравитационного поля достигает неслыханных величин, В. А. Амбарцумян заключает: «У нас нет и не может быть никакой гарантии, что известные нам законы физики соблюдаются и в этих условиях. И совсем

*) См.: В. И. Л е н и н, Конспект книги Гегеля «Наука логики». Полное собр. соч., т. 29, стр. 103.

не удивительно поэтому, если окажется, что имеющиеся уже сейчас большие трудности теоретического истолкования ряда нестационарных процессов могут перерасти с течением времени в прямое противоречие с известными нам законами теоретической физики» *).

С такой возможностью изменения законов нельзя не считаться. Но и в столь необычных для нашей практики условиях реализуются объективные законы, которые физики и астрофизики рано или поздно сумеют раскрыть. И, по-видимому, они будут отправляться от уже известных законов, отыскивая в новых условиях их модификацию. Ибо любая будущая *адекватная* теория, для каких бы условий она ни формулировалась, не может строиться в противоречии с законами и фактами, подтвержденными на нынешнем этапе познания в известных нам условиях **). Последний вывод вытекает из единства природы и ее законов, нашедшего свое выражение в принципе соответствия (см. ниже).

Итак, все ограничения *абсолютизации* законов природы не могут отменить того *гносеологического* вывода, что законы природы есть *объективный факт*, а не какое-нибудь «упорядочение» наших субъективных восприятий или «условное утверждение».

Необходимо подчеркнуть еще одну сторону проблемы. На деле физик никогда не рассуждает в духе высказываний Вигнера, вроде: «Я познакомился с планковским законом излучения. Остроумный результат, но ведь это всего только условное утверждение, поскольку его формулировка связана с измерениями, а ни одно измерение не абсолютно».

Нет, несмотря на приближенность любого из отдельных измерений, планковский закон излучения точен, точен в такой мере, что он позволяет установить квантовую природу света и статистический закон поглощения и испускания фотонов атомами. А это подтверждается многими другими качественно разнородными законами, каждый из которых также не абсолютен. Это говорит о том, что в действительности база планковского закона значительно шире, чем непосредственные измерения Рубенса и Курльбаума. И эта всеобщая, подтверждаемая в опыте *взаимосвязь законов природы* справедлива во всех случаях. В ней снимается относительная неточность измерений при установлении любого закона. Примеров такой взаимосвязи законов мы уже приводили немало в связи с обсуждением других сторон проблемы.

Именно эта всеобщая связь законов природы, их логическая совместность, объясняет и тот удивляющий Вигнера факт, что постигающий их разум не запутывается в противоречиях.

* * *

Итак, закон природы не абсолютен в том смысле, какой ему придавала физика XIX века. Но он есть *объективная тенденция* в природе, осуществляемая при определенных условиях. В науке широко известны открытия планет, химических элементов, элементарных частиц, месторождений полезных ископаемых, заранее предсказанные на основе знания определенных закономерностей. Разве это не подтверждает объективное значение закономерных взаимосвязей природы? Именно объективность законов и возможность их познания лежит в основе науки. Никакой теории, никакой науки не могло бы быть, если бы не было объективных законов природы. Наука ставит перед собой задачу раскрыть эти законы, а не формулировать «условные утверждения».

*) В. А. Амбарцумян, Современное естествознание и философия. Доклад на XIV Международном философском конгрессе, Вена, 1968 г. (УФН 96 (1), 3 (1968)).

**) См. по этому поводу дискуссию между Я. Б. Зельдовичем и Я. А. Смородиным и К. П. Станюковичем (УФН 88 (1), 199; 89 (4), 731 (1966)).

Неправомерно смешивать относительность физического познания с философской проблемой о существовании объективных закономерностей. Это все та же уступка идеализму, о которой писал В. И. Ленин еще шестьдесят лет назад, указывая на причины этой уступки, состоящие в том, что «физики не знали диалектики». Перечисляя примеры этого соскальзывания физиков к идеализму, Ленин прямо касается и вопроса об относительности и объективности законов природы: «Отрицая абсолютный характер важнейших и основных законов, они (склонные к идеализму физики. — С. С.) скатывались к отрицанию всякой объективной закономерности в природе, к *объявлению закона природы простой условностью, „ограничением ожидания“, „логической необходимостью“ и т. п.*» *).

Этот анализ сохранил свое значение и в наше время.

III. ОБЪЕКТИВНЫЙ СМЫСЛ ТЕОРИИ

Объективные закономерности природы раскрываются через теории. Через теорию познается их необходимость и границы их применения.

В практической жизни общества значение теории представляется настолько ясным, что никто не задает вопроса, нужно ли и для чего нужно их разрабатывать. Кажется естественным, что в развитых странах по теоретической физике читаются курсы, издаются учебники, выпускаются журналы, создаются кафедры, научно-исследовательские институты; на развитие всех этих институтов затрачиваются значительные средства. Всем ясно, что теории развиваются ради познания законов природы, в практических целях развития производительных сил.

Из этой тривиальной истины вытекают важные гносеологические выводы, которым, однако, следуют не все теоретики.

1. Критерий истинности теорий. Если смысл теорий состоит в том, что они отображают природу, то существует *объективный* критерий истинности теории. Он, следовательно, не эстетической природы.

Все крупные естествоиспытатели, не только в прошлом, но и в наше время, считали, что таким критерием является совпадение выводов теории с результатами экспериментов, предсказание ею новых результатов, с которыми исследователь еще не встречался (эвристическая сила теории). В числе этих ученых был и Эйнштейн.

Ссылаться на авторитет Эйнштейна, будто бы утверждавшего, что *единственным* критерием приемлемости теорий является их красота, значит неправильно представлять и смысл деятельности Эйнштейна как теоретика, и его взгляды. Физикам широко известно, как тщательно доводил Эйнштейн разрабатываемые им теории до формулировки выводов, которые можно проверить экспериментально. Это в равной мере относится к различным его теориям — броуновского движения, квантовой природы света, специальной теории относительности, обобщенной теории тяготения. Нередко он прямо обращался к экспериментаторам с просьбой проверить выводы только что изложенной им теории.

Но вопрос о критериях истинности теорий поставлен им и в теоретическом плане. В своей широко известной научной автобиографии (1949 г.) Эйнштейн изложил принципы, которыми он руководствовался в своих исследованиях. Вот что он писал о критериях приемлемости теорий: *«Первый критерий очевиден: теория не должна противоречить данным опыта. Но насколько очевидным кажется это требование само по себе,*

*) В. И. Ленин, *Материализм и эмпириокритицизм*, гл. V, § 2. Полн. собр. соч., т. 18, стр. 277.

настолько тонким оказывается его применение. Дело в том, что часто, если не всегда, можно сохранить данную общую теоретическую основу, если только приспособлять ее к фактам при помощи более или менее искусственных дополнительных предположений. Во всяком случае, в этом первом критерии речь идет о проверке теоретической основы на имеющемся опытным материале.

Во *втором критерии* речь идет не об отношении к опытному материалу, а о предпосылках самой теории, о том, что можно было бы кратко, хотя и не вполне ясно, назвать «естественностью» или «логической простотой» предпосылок (основных понятий и основных соотношений между ними). Этот критерий, точная формулировка которого представляет большие трудности, всегда играл большую роль при выборе между теориями и при их оценке. Речь идет здесь не просто о каком-то перечислении логически независимых предпосылок (если таковое вообще возможно однозначным образом), а о своего рода взвешивании и сравнении несоизмеримых качеств.

Далее, из двух теорий с одинаково «простыми» основными положениями следует предпочесть ту, которая сильнее ограничивает возможные априори качества систем (т. е. содержит наиболее определенные утверждения)» *).

Эта формулировка отличается от информации Вигнера в двух отношениях. Во-первых, Эйнштейн писал не о единственном критерии, а о двух критериях, и на первое место ставил согласие теории с опытом; во-вторых, в качестве другого критерия Эйнштейн выдвигал естественность, логическую простоту предпосылок теории, что может получить и рациональную объективную трактовку (мы не можем здесь развивать эту тему) и что отнюдь не тождественно эстетическому критерию — красоте.

В истории естествознания можно привести пример ученых, которые выдвигали эстетический критерий истинности теорий. Но это был не Эйнштейн, а Аристотель, как это правильно отметил Ф. Дайсон. «Математическая интуиция оказывается гораздо чаще консервативной, чем революционной,— писал Дайсон,— она чаще сковывает, чем освобождает. Наиболее реакционной во всей истории физики была идея Аристотеля и Птолемея о геоцентрической системе, с точки зрения которой все небесные тела двигались по сферам и кругам. Астрономия Аристотеля почти полностью затмила науку на 1800 лет (с 250 г. до н. э. до 1550 г. н. э.). Этот застой в науке объяснялся, разумеется, весьма многими причинами, однако нельзя не признать, что главной причиной популярности астрономии Аристотеля была обманчивая математическая интуиция, подсказывающая, что эстетически удовлетворительны лишь сферы и круги» **).

Как видим, в оценке эстетического критерия Дайсон разошелся с Вигнером: он отмечает реакционную роль эстетического критерия, который руководствовался Аристотель. И в самом деле, разве не с призыва к ученым обратиться к чтению книги самой природы началась в новое время революция в естествознании?

А ведь этот призыв означал не что иное, как обращение к объективному критерию истинности теории. С тех пор, как такой критерий был

*) Альберт Эйнштейн, Автобиографические заметки. Собрание научных трудов, т. IV, М., «Наука», 1967, стр. 266.

**) Ф. Дайсон, Математика и физика (УФН 85 (2), 355 (1965)). Подлинник опубликован в Sci. Amer. 211 (9), 129 (1964).

Дайсон самоустранился от обсуждения «философской дискуссии о том, почему математика столь эффективно применяется в физике», оставляя «философию гигантам, таким как Бор или Вигнер». Но интересно отметить, что, обсуждая по существу тот же вопрос о соотношении математики и физики, Дайсон и не присоединяется к статье «гиганта Вигнера», которая ему хорошо известна, коль скоро он цитирует ее по другому поводу.

принят за норму исследовательской работы, естествознание стало быстро прогрессировать.

Конечно, эстетический критерий встречается и в современных теоретических исследованиях, особенно в таких науках, как космология. Однако насколько такой критерий является ненадежным и неубедительным, показывает Я. Б. Зельдович. Отмечая, что в космологических теориях некоторые авторы исходят из гипотезы о том, что космологическая постоянная $\Lambda \equiv 0$, он пишет: «При этом выдвигались либо *эстетические* аргументы: теория с $\Lambda \equiv 0$ красивее, проще, формулы более компактны, существует частное решение — пустой плоский мир Минковского, либо аргументы, напоминающие принцип экономии мышления: зачем вводить лишний параметр Λ до тех пор, пока это не вызвано необходимостью? Когда появляются авторы (следует ссылка на работы Э. Салпитера и др., И. С. Шкловского, Н. С. Кардашева. — С. С.), сильно заинтересованные в $\Lambda \neq 0$, приведенные выше аргументы теряют свою привлекательность и убедительную силу. Выясняется, что многим (ссылка на статьи А. Л. Зельманова. — С. С.) всегда казалась более красивой — в силу большей общности — именно схема с $\Lambda \neq 0$ *). Автор справедливо считает, что «вопрос нужно решать на основе объективных данных».

2. О «ложных» теориях, точно описывающих явления. Принцип соответствия. Если ценность теорий состоит в том, что они отображают природу, если существует объективный критерий истинности теорий, то с этими положениями несовместимы взгляды Вигнера, согласно которым возникновение более общей теории низводит предшествующую, менее общую, теорию на положение «ложной».

Процесс возникновения все более общих теорий действительно имеет место. Он имеет свое основание в том, что человек раскрывает все больший круг взаимосвязей в природе, ее познание идет вглубь. Однако на каждом этапе каждая теория (мы имеем в виду корректную теорию) является обобщением некоторого круга раскрытых связей в природе, только круга более узкого и явлений более внешних. Поэтому она не может классифицироваться как *ложная* только потому, что появилась более общая теория. Если подходить с такой меркой, то вся классическая физика должна классифицироваться как ложная. Но кто же с этим согласится? Ведь классическая физика правильно отражает многие закономерности макромира и является теоретической основой макротехники, даже в наш век теории относительности и квантовой механики. Более того, и в логическом и в материально-техническом плане классическая физика есть *необходимая ступень* к последующей более общей и глубокой теории. Нет никаких оснований создавать искусственный парадокс: теория ложна, а почему-то пугающе (!) точно описывает некоторые явления! Теория их описывает потому, что она появилась *как их обобщение*, а не как произвольная мыслительная конструкция ученого.

Физики, создававшие современную науку, или другими, более обобщенными путями: нащупывая контуры новой, квантовой механики, они считали обязательным установить ее генетическую связь с классической теорией и нашли условие, при котором более общая теория принимает частный вид, вид предшествующей теории; более того, эта связь более общей теории с предшествующей явилась путеводной нитью в поисках новой теории и критерием правильности поисков. Эта связь сформулирована в виде принципа соответствия, и для физики, как уже упоминалось, это выполнил Нильс Бор.

*) Я. Б. З е л ь д о в и ч, Космологическая постоянная и теория элементарных частиц (УФН 95 (1), 209 (1968)).

Это вполне естественно, что ученые, рассматривающие свои теории как отображение объективных закономерностей природы, должны были прийти именно к такому пониманию соотношения последовательно развивающихся теорий, которое выражено в принципе соответствия.

Взгляды же Вигнера, его рассуждения о том, что по мере появления новых более общих теорий прежние теории становятся ложными, противоречат принципу соответствия. Он не привел и не смог бы привести никаких доводов против этого принципа, подтверждающегося во всех последовательно развивающихся науках (например, в соотношении релятивистской и классической механик, неевклидовой и евклидовой геометрий и т. д.). Впрочем, мы полагаем, что Вигнер и не намеревался непосредственно атаковать этот принцип, завоевавший столь широкое признание в физике. Мы только утверждаем, что его гносеологические положения находятся в противоречии с известными результатами физики.

Чтобы наша дальнейшая критика была более понятной, мы должны будем кратко обрисовать свое понимание становления теорий.

3. Логический смысл теории; ее постулаты; ее однозначность. Теория возникает как результат отыскания и формулировки условия логической совместности найденных в природе, экспериментально проверенных соотношений. Назовем эти соотношения исходными постулатами будущей теории. В качестве исходных постулатов могут быть и предшествующие теории, адекватность которых природе уже подтверждена. В конечном счете любая теория есть обобщение экспериментов, опыта, наблюдений. Будучи таким обобщением, теория в некотором смысле достовернее единичного эксперимента.

В качестве исходных постулатов теории относительности (специальной) выступают: факт независимости скорости света от относительного движения его источника; принцип относительности физических, в том числе электромагнитных, явлений в инерциальных системах (откуда, в частности, следует ковариантность максвелловых уравнений электромагнитного поля, установление которой исторически сыграло существенную роль в отыскании постулатов теории). Этих исходных постулатов достаточно, чтобы вывести «условия их логической совместности» — преобразование координат, времени, электрических и магнитных напряженностей — и вывести все инварианты, т. е. создать теорию относительности. Это был единственный путь решения проблем, назревших в физике конца XIX века. Никакие другие пути не могли дать адекватной теории. В самом деле, со времени опытов Майкельсона физики по существу имели уже все данные для обобщения вступивших во взаимное противоречие результатов классических опытов в электродинамике. Однако в течение двадцати лет решение не находилось. Это находит свое объяснение именно в том, что в то время еще не была нащупана правильная методика отыскания обобщающей теории. Каждый новый результат пытались объяснить в свете уже существующих представлений, отыскивая для объяснения нового результата особые производящие причины. Так, отрицательный результат единичного опыта — опыта Майкельсона — видели в сокращении линейных размеров тел в направлении скорости (лоренц-фитцджеральдовское сокращение).

Только принципиально новая постановка проблемы Эйнштейном привела к созданию новой теории — теории относительности. Эта новая постановка проблемы и состояла в отыскании условий логической совместности исходных, отобранных Эйнштейном, постулатов, достоверность которых проверена экспериментально. Именно она привела к пересмотру ряда физических понятий, прежде считавшихся абсолютными.

Конечно, правильный отбор исходных постулативных соотношений, а также и последующий переход от них к теории — дело сложное, оно требует огромной интуиции, опыта и таланта ученого, а чаще всего реализуется коллективным трудом целого поколения ученых. Фактически путь поисков теории каждым отдельным ученым не укладывается в простую логическую схему; часто он определяется и влиянием традиций, и общим миропониманием ученого, и многими психологическими факторами; объективный логический смысл своих поисков ученый и не всегда ясно осознает; нередко на него оказывает влияние борьба за приоритет идей, в виду чего каждое новое открытие ведет к быстрому появлению новой «теории», хотя для нее, быть может, еще и не раскрыт необходимый набор исходных постулатов. Все это необходимо для понимания сложных zig-zagов науки. Однако для гносеологии существенно раскрытие *логических* оснований становления теорий.

Набор исходных постулатов должен отвечать определенным требованиям. Назовем некоторые из них.

Каждый из постулатов, включенных в набор, должен быть неповторимым в том смысле, что он должен давать *собственный* специфический вклад в будущую теорию; мы будем называть этот вклад *логическим содержанием* постулата. Все множество раскрытых экспериментальных соотношений, относящихся к данной области фактов, может быть разделено на небольшое количество разнородных групп, в каждую из которых входят соотношения, может быть, и различные по форме, но эквивалентные по своему логическому содержанию. Естественно, что в набор исходных постулатов включаются лишь по одному из каждой группы.

Далее, набор исходных постулатов должен быть *полным* в том смысле, что в него должны войти соотношения из *всех* разнородных групп, т. е. набор постулатов должен быть составлен из всех возможных, разнородных по своему логическому содержанию, постулативных соотношений. Только в этом случае теория будет обобщать все явления, относящиеся к данной области *).

Конечно, из каждой разнородной группы могут быть отобраны другие физические соотношения. Но поскольку они взяты из тех же групп и их логическое содержание по условию будет тем же, постольку новый набор исходных соотношений (постулатов) будет по своей логической потенции эквивалентен прежнему. Отсюда следует, что и формулировка условий логической совместности этого набора постулатов будет отличаться от прежней только по форме, но она будет ей эквивалентна.

В свете изложенных положений о путях развития теорий можно оценить попытки Боме, Вигье и других физиков построить новый вариант квантовой механики на основе введения «скрытых параметров». Эти попытки не основаны на обогащении набора постулатов новыми постулатами, которые обладали бы специфическим логическим содержанием и вытекали бы из новых экспериментов. Естественно, они и не привели к какой-либо новой плодотворной теории.

Развитие здесь суждения о теории имеют в виду определить ее место и роль в процессе познания, ее становление как образа объективной реальности. Из понимания гносеологического смысла теории следуют не только те выводы, которые мы здесь используем, но и многие другие — например, о соотношении теории с понятиями, о развитии последних и источнике их

*) Описанные в гл. III, п. 1 колебания в оценках значения космологической постоянной свидетельствуют лишь о том, что в данной области еще не выделены (и, возможно, еще не все открыты) исходные постулаты и построение теории идет методом «проб и ошибок».

«противоречивости», об эвристической силе теории и т. п., — которые мы здесь не можем развивать подробно *).

4. О путях развития квантовой механики. Отбор исходных постулативных соотношений, приведших к созданию квантовой механики, протекал на протяжении почти четверти века. Мы не можем здесь подробно обсуждать этот вопрос, но упомянем, что в этот набор постулатов сделали вклад результаты многих исследований: и открытие квантовой природы света, его двойственной природы; и установление стационарных состояний в атомах, переходы между которыми, как в простейших, так и в более сложных атомах, связаны с излучением (или поглощением) квантов, энергия которых пропорциональна частоте; и комбинационный принцип, имеющий место для частот излучений всех атомов; и обнаружение различных типов квантовой статистики, включающей «запреты» некоторых состояний; и обоснование применимости к квантовым системам классической формы гамильтониана, и другие.

Этот отбор был сложным, и мы даже сказали бы мучительным, процессом. В нем участвовали два поколения физиков. Он не обошелся и без элементов драматизма, ибо зачинатель этого дела, вложивший в него много новых, необычных, но экспериментально обоснованных, основоположных идей, увлеченный затем другой, как ему казалось, более простой и возможной схемой построения модели мира, впоследствии отошел от своих последователей и друзей и многие десятилетия возражал против принципов квантовой механики. Нетрудно догадаться, что мы имеем в виду Эйнштейна **). О многих трудных поисках, раздумьях и сомнениях в процессе образования квантовой теории рассказывают нам его непосредственные участники — Борн, Гейзенберг и другие.

Именно поэтому представление об этом процессе, которое дает Вигнер, нам кажется слишком упрощенным ***). И дело не в том, что он лишь «кратко изложил» некоторые страницы истории физики в расчете на то, что они широко известны; дело в том, что, стремясь к определенным гносеологическим выводам, он упрощенно представил саму логику становления теории, в результате чего вся построенная на этой логике концепция оказалась бездоказательной.

5. О множественности теорий. Рассмотрим еще один аспект процесса познания, обсуждаемый Вигнером, — вопрос о возможности многих различных теорий, объясняющих один и тот же круг явлений. Отмечаемое Вигнером различие теорий проистекает оттого, что в основу их кладется различный набор исходных экспериментальных соотношений. Однако в рассуждениях Вигнера много неясностей и логических противоречий.

Что означают слова: «...если обратить внимание на явления, которые сейчас являются для нас определяющими»? Совершенно неясно, что это за новый набор «явлений, которыми мы пренебрегали». Если он отвечает тем же требованиям полноценности постулатов и полноты их набора, что

*) Практически же термин «теория» используется в физике в самых различных смыслах и часто неточно подменяет другие, более уместные термины — «гипотеза», «совокупность представлений» и т. п.

**) Более подробное изложение см.: С. Г. Суворов, Философские воззрения Эйнштейна, их взаимосвязь с его физическими взглядами (УФН 86 (3), 537 (1965)).

***) Напомним изложение Вигнера. Макс Борн заметил, что некоторые вычислительные приемы Гейзенберга формально совпадают с правилами матричного исчисления. После этого три физика предложили заменить значения классических координат и импульсов матрицами. А вдруг что-нибудь выйдет? Потом последовало чудо. Вот и весь процесс становления сложнейшей теории — теории, в которой так много новых и неожиданных идей!

и набор, «который сейчас является определяющим», то условие их логической совместности, т. е. формулировка теории, будет эквивалентно прежнему и, следовательно, в логическом плане обе теории будут равнозначными. Тогда они, естественно, будут объяснять один и тот же круг явлений; естественно потому, что оба набора исходных соотношений в логическом аспекте были *не различными, а эквивалентными*.

Если же первый набор будет отвечать указанным выше требованиям, а второй будет взят случайно (только по тому признаку, что мы этими явлениями пренебрегали), то новая «теория» будет заведомо ограниченной; она действительно *будет отличаться* от первой теории, но она и *не будет объяснять* тот же круг явлений. Тут явное логическое противоречие между предпосылками и выводами.

Таково действительное положение с возможностью множества теорий, объясняющих одни и те же явления. Если набор исходных постулативных соотношений произведен правильно в смысле полноценности их логического содержания и полноты набора в целом, то условие их логической совместности, т. е. формулировка теории, будет в логическом плане однозначным.

И этим всегда, быть может интуитивно, руководствовались физики. Макс Борн рассказывает о том, как физики были поражены, когда наряду с матричной механикой Гейзенберга, Борна и Иордана, вскоре после публикации их работ, появилась волновая механика Шрёдингера, с успехом решавшая те же задачи, хотя она, казалось, совершенно отличалась от матричной. Сами авторы переживали это как удар судьбы. Однако, ко всеобщему удовлетворению, вскоре выяснилось, что обе формы квантовой механики математически и логически эквивалентны друг другу; и замечательно, что доказательство этого факта считал необходимым провести основатель волновой механики Шрёдингер, притом еще до окончания публикации своего классического цикла статей. Так велика была убежденность в том, что *одни и те же исходные постулаты* — а их предоставляла в распоряжение ученых природа — *не могут приводить к различным теориям*.

Этот поучительный исторический факт свидетельствует о том, что обе школы физиков, во-первых, имели дело с одним и тем же объективным миром атомной физики, а во-вторых, правильно отобрали в нем логически эквивалентные наборы постулативных соотношений.

6. Преобразование теорий. Отображения в различных многообразиях.

Как уже отмечалось, сказанное выше об однозначности теорий не исключает возможности существования их различных форм. Но все такие формы закономерно связаны между собой. Математика разработала системы преобразования одних форм теорий в другие. Многообразие типов преобразований указывает на различное происхождение преобразованных форм теорий.

Впрочем, в отношении двух форм квантовой механики непосредственно видно, что их происхождение связано с двойственной природой квантовых объектов. Этот факт привел к тому, что при поисках обобщающей теории исследователи подходили к проблеме «с двух концов»: одни исходили из волновых представлений и искали математически формулируемые условия, при которых волновые уравнения дают дискретный спектр значений измеряемых физических величин, характеризующих дискретные состояния; другие же брали за основу дискретный спектр значений частот соответствующих переходов атомов, представляя амплитуды вероятностей этих переходов в виде элементов матриц, и затем использовали аналогию с классическим формализмом гамильтоновых уравнений, определяющих

частоту периодического движения системы как частную производную от ее гамильтониана по переменным действия. Но как, естественно, оказалось, суть теории зависела не от «начальных условий», а от исходного набора постулативных соотношений в целом, в обоих случаях одного и того же. Поэтому оба подхода привели к эквивалентным результатам, выявилась возможность преобразования одной системы математического формализма в другую. В связи с этим Дирак разработал теорию преобразования совокупности собственных функций уравнения Шрёдингера в набор базисных векторов представления матриц.

Ортогональные преобразования в 4-мерном пространстве-времени предоставляют свободу выбора любой инерциальной системы отсчета; в свое время обоснование такого выбора составляло важнейшую задачу физики. Как известно, эти преобразования оставляют инвариантным интервал.

Как сказано выше, существует немало различных систем преобразований *). Мы не можем здесь рассматривать их характер и значение; упомянем еще только, что математика разработала различные формы отображений одного многообразия в другое, создавая тем самым новые формы эквивалентных теорий. Так, динамика системы материальных точек в 3-мерном евклидовом пространстве может быть выражена в форме динамики одной материальной точки в $3N$ -мерном конфигурационном пространстве или же в фазовом пространстве. Все подобные отображения изоморфны, но какое-либо одно из них может иметь некоторое преимущество, например, для выявления существенных инвариантных свойств отображаемой системы, и потому может оказаться более полезным для дальнейшего развития теории. Поэтому вполне закономерны, например, поиски изоморфных систем описания гравитационной теории Эйнштейна, чем и занимаются некоторые исследователи **).

Однако в аспекте нашего анализа существенно подчеркнуть, что все это различие форм отображения не меняет существа гносеологической проблемы: отображение одной и той же области внешних фактов, опирающееся на определенный набор постулативных соотношений, всегда однозначно, *однозначно в логическом смысле*. Какая бы система физических переменных ни применялась или на какое бы многообразие отображение ни производилось, между формами теории существует *определенная однозначная связь*, показывающая, что в найденной теории отображаются объективные законы природы.

В гносеологическом плане эта относительная свобода выбора метода отображения играет весьма положительную роль. Она облегчает и ускоряет поиск адекватной теории, ибо не сковывает однозначно путей исследования. Она может сильнее подчеркнуть некоторые особенности теории и тем самым раскрыть более широкие перспективы для дальнейших исследований.

Но эта свобода выбора всегда ограничивается тем, что формулируемая теория должна отображать *объективные закономерные связи*. Мы вновь приходим к выводу: теория не есть нечто условное, зависящее

*) Особый класс представляют преобразования одной теории в другую при переходе к предельному значению характеристического параметра. Так, формализм теории относительности преобразуется в формализм классической теории при $c \rightarrow \infty$, формализм нерелятивистской квантовой механики — в формализм классической теории при $\hbar \rightarrow 0$, и т. д. В этом классе преобразований мы имеем дело с теориями, отображающими объекты «на разных уровнях»; при предельных значениях характеристических параметров они просто переходят одна в другую.

**) См., например: А. З. Петров, О моделировании физических полей, Тезисы докладов 5-й Международной конференции по гравитации и теории относительности (Тбилиси, 1968 г.).

от концепций и методов различных школ, от применяемых физических переменных, от способов отображения; *она является логическим образом объективной реальности и имеет совершенно точные объективные критерии истинности.*

IV. ОБ ОСНОВАНИЯХ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАТЕМАТИКИ

Вигнер говорит об огромной эффективности математики в естественных науках как о чем-то, что непостижимо, что граничит с мистикой и не имеет рационального объяснения. Между тем никакой мистики и непостижимости в эффективности математики нет. Это следует из анализа особенностей математики и ее взаимосвязей с естественными и другими науками.

1. Особенность математики. Математика исследует многообразные логические связи и скрытые в них следствия. Ее особенность состоит в том, что она оперирует с наиболее абстрактными и потому весьма подвижными категориями. Разработка различных типов связей, условий логической совместности самых многообразных постулатов, извлечение следствий из них — все это получает в математике наиболее гибкую и многообразную форму. В этой гибкости и многообразии форм состоит важнейший компонент ее силы. Благодаря абстракции ее объектов над ней в меньшей степени довлеет традиция. Математика может задаться любыми комбинациями постулативных соотношений и рассмотреть следствия их логической совместности. Поэтому она непрерывно находится в поисках новых возможных отношений. Так, она переходит ко все более сложным уравнениям, решениями которых являются все более сложные типы функций, например комплексные; она переходит от евклидовой геометрии к неевклидовым, от трехмерного пространства — к многомерным, и т. д.

Другим компонентом силы математики является тот факт, что все ее следствия однозначно вытекают из принятых предпосылок. Она действует по законам логики, в широком смысле этого слова. Поэтому, *если исходные связи в природе удалось выразить в адекватной математической форме*, она с необходимостью приведет ко всем логическим следствиям, которых из непосредственного наблюдения природы исследователь до этого не выводил. Это часто вызывало удивление, и на этот счет возникло немало афоризмов (Кант, Герц и многие другие): «мы извлекаем из уравнений нечто такое, чего в них не закладывали», «математика умнее самих математиков», и т. п. В этих афоризмах выражается эмоциональное отношение к факту эффективности математики, но, конечно, отсутствует логический анализ.

2. Математический формализм как модель системных связей. Факт появления новых результатов, которые будто бы не были заложены в исходных уравнениях, не является прерогативой только математики. То же можно сказать и о физической теории, о теории вообще. *Теория не является простой суммой постулативных соотношений*: требование логической совместности отобранной группы постулатов раскрывает новые связи, которые содержались в постулатах не в явном, а лишь в потенциальном виде. Иначе говоря, отыскание и формулировка теории всегда приводят к раскрытию новых взаимосвязей. Более того, это свойственно не только познанию. *Это всеобщий закон материального мира. При образовании любой системы в ней появляется новое качество, которого не было в исходных свободных компонентах* (оно могло быть лишь в виде потенциальной возможности). В физике эти свойства систем особенно ясно

выявила квантовая механика, доказав тем самым несостоятельность идей механицизма. А наиболее разительными примерами появления нового качества систем являются сознание, жизнь, человеческое общество.

Собственно, новый результат может быть отнесен не столько к самой математике, сколько к той системе исходных постулативных соотношений, моделью которой является данный математический формализм. Сама же математика в сущности не представляет нам новой логики, возвышающейся над естественными логическими отношениями, имеющими место в самой природе. Она получает эти отношения готовыми из естествознания или другой области как исходное условие задачи. В этом можно убедиться на самых сложных примерах, например даже из жизни общества.

Возьмем какой-либо экономический процесс, в котором участвуют многие компоненты — производство, снабжение, транспорт, сбыт, цены, рабочая сила, машины, материалы и т. п. Известно, что только определенное соотношение между всеми этими элементами в процессе производства дает оптимальный экономический эффект. До последних лет эта задача решалась без привлечения современных математических методов, по интуиции, по прошлому опыту, решалась с весьма грубым приближением. Математика позволяет построить модель всего процесса и точно решить задачу оптимального соотношения отдельных элементов. Математическое моделирование позволяет правильно организовать систему управления, снабжения, производства; оно избавляет от дорогостоящего экспериментирования, позволяя постановку экспериментов заменить предварительным просчетом планируемого процесса. Использование математики создало основу для быстрого прогресса в этой области.

Но математика не в состоянии решать подобные задачи самостоятельно: математическое моделирование требует определения удельного веса, учета экономической роли каждой компоненты. Эти данные не в состоянии определить сама математика, их можно найти лишь на основе знания экономических закономерностей.

Так же обстоит дело и в физике. Математика не может привести к необходимому результату в физике, если физиками не определен правильно набор постулатов, не найдены исходные принципы. Точно так же математика не может поставить диагноз болезни без точных предварительных медицинских оценок роли отдельных симптомов, или она не может составить геологический прогноз без получения от специалистов оценок каждого из признаков для поиска. Естественно, что такая ситуация в наше время вызывает рост комплексных исследований, в которых наряду с математиками выступают представители других наук.

Таким образом, уже самим набором постулативных соотношений определяется логика отношений в исследуемой области объектов, а математика помогает выяснить их следствия *).

3. Физическое моделирование математических задач. В середине XX века стало ясно, что не только математика моделирует физические процессы, но и физика в состоянии моделировать математический формализм. Электронные вычислительные машины, в которых это моделирова-

*) В тексте речь идет о решении конкретных задач экономики, физики и т. п. Сказанное отноль не означает, что математика не развивает теории самостоятельно, исследуя логические следствия каких-либо принятых ею комбинаций постулативных соотношений (см. гл. IV, п. 1). В таких случаях она создает теории *логически возможных* структур, надолго опережая раскрытие их практической ценности («воображаемая геометрия» Лобачевского, матричное исчисление с некоммутирующими элементами и т. п.). Но и эти факты как раз подтверждают тот же вывод: математика не создает новой логики, возвышающейся над логическими отношениями, имеющими место в самой природе, она лишь меняет структуру постулатов и выясняет следствия этого.

ние осуществляется, создали возможность не только чрезвычайно ускорить вычисления (до миллионов операций в секунду), но и давать новый результат. Так, они позволяют отыскать практически приемлемое решение таких задач, которые раньше считались вовсе неразрешимыми. Таким образом физическое моделирование математических задач помогает развивать математику. А ныне математики мечтают о вычислительных машинах, которые будут моделировать математические операции не с помощью полупроводниковых приборов, а на основе химических реакций.

Это снова свидетельствует о том, что математика опирается на ту же логику, на какую опираются и другие науки и какая лежит в основе законов природы.

4. Требование адекватности к математическому формализму. Однако логические отношения, заключающиеся в наборе постулатов, выражающих те или иные связи в природе, могут быть весьма разнообразными. В силу сказанного о единой логике, *каждому специфическому набору постулатов может быть найден определенный математический формализм*. Это должен быть именно определенный формализм, адекватный данному специфическому набору постулатов (или иной по форме, но логически ему эквивалентный), но не любой.

История физики говорит о том, что на каждом крупном этапе, когда она обращалась к исследованию новых объектов, она отыскивала или заново создавала нужный адекватный формализм. До Ньютона механические задачи решались или с помощью элементарной алгебры, как у Гюйгенса в задаче о соударении тел, где скорости имели конечное значение и менялись только скачком, или с помощью геометрических образов. Создавая основы классической механики, Ньютон столкнулся с тем фактом, что такие новые понятия, как скорость и ускорение в точке, не находили эквивалента в геометрических образах; последние не давали необходимого простора для широких обобщений. Новые потребности толкали Ньютона к поискам адекватного математического формализма, и он нашел его в виде дифференциального исчисления, в развитии которого он сыграл значительную роль.

Развитие теории движения непрерывных сред, оперировавшей величинами, значение которых непрерывно менялось от точки к точке, в которых складывались действия различных факторов, вызвало к жизни адекватный математический формализм в виде теории дифференциальных уравнений с частными производными (Эйлер, Лаплас, Пуассон и др.). Этот формализм был позднее использован Максвеллом при формулировке теории электромагнитного поля, что было вполне естественно, поскольку к характеру взаимосвязи физических величин и в этой области предъявлялись аналогичные требования.

Приведем еще один пример, из которого видно, с одной стороны, как физики, формулируя определенные задачи, тем самым побуждали саму математику к более широкому обобщению, а с другой стороны, как они были вынуждены, быть может преодолевая некоторый скепсис, принять уже разработанный математический формализм, поскольку он был адекватен физической задаче.

В специальной теории относительности под инерциальным движением понималось движение по прямой; тем самым предполагалось, что используемая в теории геометрия была псевдоевклидовой. Минковский обратил внимание на то, что в этой псевдоевклидовой геометрии появилась новая 4-мерная инвариантная величина — интервал, представляющий собой сумму квадратов разностей координат и времени (последний член с отрицательным знаком). Это дало Минковскому основание для выработки

представлений о 4-мерном мире, элементы которого, «события», обладают физической реальностью, независимой от системы отсчета. Эти его взгляды, как он заявил в знаменитом докладе «Пространство и время» 21 сентября 1908 г., «возникли на экспериментально-физической основе».

Для Минковского, как математика, естественно было поставить чисто теоретически вопрос об инвариантах в случаях, в которых рассматривается пространство уже не псевдоевклидово, а риманово, т. е. в случаях, когда оно определенным образом искривлено, а инерциальное движение совершается не по прямой, а по геодезической линии. Очевидно, в этих условиях уже нельзя было ограничиться четырехкомпонентным вектором, как в случае псевдоевклидова пространства.

Поиски инвариантов в искривленном римановом пространстве привели Минковского к исследованию преобразований многокомпонентной величины, компоненты которой при переходе к новой системе выражаются линейно и однородно через ее компоненты в старой системе. Такой величиной является тензор, уже ранее известный математикам. Методы тензорного исчисления и использовал Минковский для объединения своей идеи о «мировой геометрии» с учением Римана об искривленных пространствах.

Эйнштейн, развивая обобщенную теорию тяготения, шел своими путями, опираясь, в частности, на идею об эквивалентности полей тяготения и ускорения. В конечном счете он шел к решению той же задачи, что и Минковский, но отпирался от физических постулатов и преследовал чисто физическую цель. Основное достижение Эйнштейна в этой проблеме состояло в том, что он обосновал возможность представить поле тяготения как отклонение геометрических свойств пространства-времени от псевдоевклидовых. Для этого необходимо было найти меру кривизны пространства и обобщенную меру плотности тяготеющих масс. Такими однозначно определенными мерами и явились тензор кривизны и тензор энергии-импульса.

Исследования Минковского способствовали поискам Эйнштейна в этом направлении. Борн свидетельствует о том, что в начале своего пути Эйнштейн скептически относился к работе Минковского, считая ее излишним побочным математическим трудом. Однако он вскоре изменил это мнение, когда «глубже вник в проблемы общей теории относительности, в которых *существенными* оказались как раз математические методы Минковского» *).

И действительно, позднее Эйнштейн признавал, что «развитие теории относительности было сильно ускорено благодаря математической формулировке ее основ, данной Г. Минковским» (1915 г.), и, кратко излагая его идеи, говорил о «важных мыслях Минковского, без которых общая теория относительности..., быть может, оставалась бы в зачаточном состоянии» (1917 г.) **).

Так понимали дело классики современной физики: тензорное исчисление есть как раз тот математический аппарат, который адекватно выражает идеи обобщенной (эйнштейновской) теории тяготения — общей теории относительности. Поэтому она изложена на языке тензорного исчисления.

Мы хотим особенно подчеркнуть эту черту взаимосвязи физики и математики. Физика раскрывает в природе определенные соотношения и отбирает набор постулатов, математика переводит постулативные соотношения на свой язык, раскрывает все скрытые в них следствия. При

*) Макс Б о р н, Воспоминание о Германе Минковском (УФН 69 (2), 295 (1959)).

**) Альберт Э й н ш т е й н, Теория относительности. Собрание научных трудов, т. I, М., «Наука», 1965, стр. 421; О специальной и общей теории относительности, там же, стр. 559.

этом физика отнюдь не приспособляет свои исходные идеи (свой способ рассмотрения) к математическому формализму, а, напротив, ставит перед математикой вполне определенные требования — отобразить найденные идеи в адекватной математической форме. Так поступали и Ньютон, и Эйлер, и Максвелл, и Минковский, и Эйнштейн.

Математический формализм создается (или отыскивается) именно такой, какой соответствует *всему набору* постулативных соотношений в данной области физики, *взятому в целом*; дело, следовательно, вовсе не случайной и односторонней аналогии с каким-то частным приемом, как это рисует Вигнер в вышеприведенном примере с применением матричного исчисления в квантовой механике *). В случае квантовой механики формализм матричного исчисления оказался адекватным *всему набору* постулативных соотношений, характерных для атомных явлений (см. выше). Этот набор постулатов квантовой механики охватывает не только атом водорода, но и все атомы, в том числе и более сложные. Поэтому тот факт, что формализм матричного исчисления оказался применим и к атому гелия, вовсе не представляет собой неожиданного чуда, как это обрисовал Вигнер.

5. Развитие математических понятий через теорию. Мы должны остановиться еще на одной проблеме — на развитии математических понятий.

Вигнер указывает, что абстрактные математические понятия (например, комплексные числа) не были сформулированы для описания предметов окружающего мира. Он утверждает, что эти понятия «были построены как объекты, на которых математик мог проявить свое остроумие и чувство формальной красоты» (536). Отмечая, что не все используемые в теории понятия заключены в исходных аксиомах теории, Вигнер говорит, что новые, «не входящие в аксиоматику понятия, определены в математике лишь постольку, поскольку эти определения допускают остроумные логические операции, апеллирующие к нашему чувству прекрасного и приводящие к результатам большой общности и простоты» (537).

Факты, указанные здесь, несомненны: абстрактные понятия не формулируются для *непосредственного* описания предметов окружающего мира; не все понятия, используемые в теории, заключены уже в ее исходных аксиомах.

Однако Вигнер не раскрывает — и, может быть, даже не видит — механизма возникновения новых математических понятий, поскольку он говорит об этом как о процессе «изобретения понятий», который *предшествует* последующему использованию их (536, 537) **), и полагает, что они определены в целях допущения «остроумных логических операций, апеллирующих к нашему чувству прекрасного...». Разумеется, «апелляция к чувству прекрасного» здесь не при чем. И абстрактные математические понятия не изобретаются априорно, в каких-бы то ни было целях. Тайна рождения, например, понятия комплексного числа состоит в следующем.

Математик никогда не удовлетворится решением уравнения какого-либо частного типа, например $x^2 - a^2 = 0$, ибо оно не исчерпывает всех логических возможностей. Другой логической возможностью будет уравнение типа $x^2 \div a^2 = 0$. Если потребовать, чтобы и это уравнение имело решение, то, произведя операцию, аналогичную той, которая применялась при решении первого уравнения, мы получим решение вида $x = \pm a\sqrt{-1} = \pm ai$. Здесь i получается не в результате счетной операции, как

*) Таков ход объективного процесса познания, взятый в целом; другое дело, как осознает этот ход сам исследователь.

**) Вигнер даже отмечает крайнюю смелость в этом изобретательстве, а в том, что «такая смелость не приводит в болото противоречий», опять-таки видит чудо (537).

исторически получалось любое целое число, но его служебная роль в уравнениях аналогична роли любого целого числа, и потому его можно рассматривать тоже как *число*, хотя и специфического типа. Так получается развитие понятия числа. Новое понятие возникает в результате обобщения *теории*. В этом процессе играет роль не эстетический критерий, а логический.

Конечно, искать в природе непосредственный аналог комплексному числу было бы неразумно. Познавательная роль комплексного числа $a + bi$ раскрылась лишь после того, как был найден геометрический образ этого числа, в котором действительные числа a и b задают величину и направление *вектора*, и было установлено, что действия над комплексными числами подчиняются тем же законам, что и действия над векторами. Это привело к развитию теории функций комплексного переменного, которая оказалась математическим формализмом, отображающим реальные физические связи, в которых играют роль векторные величины, например: исследование поля скоростей в движущихся средах (в частности, вычисление подъемной силы крыла самолета), расчет напряжений в упругих телах, и т. п.

Комплексные функции входят в самую суть формулировки законов квантовой механики, как это справедливо отмечает и Вигнер. Можно понять и основания для этого. Еще Эйнштейн в ту пору, когда он своими работами давал мощный импульс развитию квантовых идей, указывал на необходимость в будущей обобщенной теории «слияния волновой теории света и теории истечения» *). Собственно, Эйнштейн намечил и путь этого «слияния». Как это отметил и Макс Борн в нобелевской лекции (1954 г.), Эйнштейн своим статистическим выводом закономерности излучения Планка (1916 г.) «наглядно показал, что классическое понятие интенсивности излучения должно быть заменено статистическим понятием вероятности перехода» **). Дальнейшее развитие квантовых идей, включая многообразные экспериментальные результаты, действительно показало, что нельзя обойти проблему обобщения дискретно-волновых свойств в единой теории и, следовательно, в едином формализме. Такой обобщающий формализм неизбежно должен был опираться на комплексные функции. В самом деле, этот формализм должен описывать состояния квантовой системы посредством непрерывных волновых функций, зависящих от времени: $\Psi_m = a_m \psi_m(\omega, t)$, $\Psi_n = a_n \psi_n(\omega, t)$. Но вероятность перехода системы из одного состояния в другое, пропорциональная Ψ_m и Ψ_n , от времени не зависит. Требование независимости вероятности перехода от времени по существу и означает, что волновые функции ψ_m и ψ_n должны быть комплексно-сопряженными, т. е. $\psi_n = \psi_m^*$, ибо только в этом случае $\Psi_m \Psi_n = a_m a_n \psi_m \psi_m^* = \text{const}$. Следовательно, именно комплексные функции позволяют выразить особенности квантовых систем, их двойственную дискретно-волновую природу.

Волновое уравнение Шрёдингера, в котором первая производная от волновой функции по времени оказывается пропорциональной второй производной по координате, опять-таки возможно только в силу комплексного характера волновой функции.

Поскольку адекватный формализм квантовой механики должен отражать указанные особенности квантовых систем, в нем применяются комплексно-сопряженные функции.

*) См. знаменитый доклад Эйнштейна в Зальцбурге (1909 г.), который Паули позднее назвал «поворотным пунктом в развитии теории» (Собрание научных трудов, т. III, статья 19).

**) См.: Макс Б о р н, Статистическая интерпретация квантовой механики, в сб. «Физика в жизни моего поколения», М., ИЛ, 1963.

Итак, комплексные числа (а равно и комплексные функции) явились не изобретением на основе эстетических соображений, а результатом необходимых логических операций; они имеют связь с реальностью не непосредственно, а через теорию, отображающую реальные связи в природе; следовательно, комплексное число существует не как счетное число, а как необходимый элемент реальных связей определенного типа. Аналогичные идеи можно высказать и о происхождении любых других математических понятий.

Этот «механизм» образования понятий и особую роль теории в нем существенно подчеркнуть именно потому, что он ставит на твердую материалистическую почву весь процесс познания, лишая его налета таинственности, мистики, ореола чуда — тех субъективистских характеристик, которые в изобилии разбросаны в статье Вигнера.

6. Об эвристическом свойстве математики. Свойство математической теории предсказывать еще не наблюдавшиеся явления обратило на себя внимание многих исследователей. Мы уже отмечали высказывания Канта, Герца и других. Но если раньше эти высказывания имели лишь эмоциональный характер, когда выражалось только удивление, то в наше время это свойство математики получило и гносеологическую оценку. По-видимому, впервые она прозвучала в работе Макса Борна, который ввел в употребление термин «математическая гипотеза» *). Борн ссылаясь на примеры таких гипотез: введение Максвеллом выражения для тока смещения $\frac{1}{c} \frac{\partial E}{\partial t}$ в уравнения электромагнитного поля и последующее предсказание электромагнитных волн; далее, введение Юкавой добавочного члена Φ/a^2 в волновое уравнение и последующее предсказание им новой частицы — мезона. В обоих случаях для введения добавочных членов не было экспериментальных оснований. Борн объясняет этот акт стремлением Максвелла и Юкавы достигнуть *полноты образа* физической реальности.

В 1944 г. С. И. Вавилов развил мысль о значении математической гипотезы для познания **). Отмечая тот факт, что в современной физике математический аппарат развивается раньше, чем ему дается физическое толкование, С. И. Вавилов объясняет его тем, что физическое толкование обычно опирается на модельные представления; между тем для составления наглядной модельной картины в новой области привычных образов и понятий уже не хватает. «Но логика, — писал С. И. Вавилов, — с ее необъятной широтой, воплощенная в математические формы, остается в силе, устанавливая порядок связи в новом непонятном мире и открывая возможности физических предсказаний». Замечательно, что С. И. Вавилов обосновывал эту мысль ссылкой на положение В. И. Ленина: «Категории мышления — не пособие человека, а выражение закономерности и природы и человека» ***).

Ряд исследователей констатирует возрастание роли математической гипотезы в последнее время. Совсем недавно физики были изумлены тем фактом, что открытие омега-минус-частицы в 1964 г. явилось результатом сознательного поиска этой частицы, существование и свойства которой (масса, заряд, странность) были за четыре года до открытия предсказаны

*) Max Born, *Experiment and Theory in Physics*. Oxford, 1943. Брошюра представляет собой несколько расширенный доклад, прочитанный автором 21 мая 1943 г. (см. перевод: УФН 66 (3), 353 (1953)).

**) С. И. Вавилов, Ленин и современная физика. Собр. соч., т. III, М., Изд-во АН СССР, 1956, стр. 63.

***) В. И. Ленин, *Философские тетради*. Полное собрание соч. т. 29, стр. 83.

Гелл-Манном и Нееманом на основе того, что к систематизации уже известных элементарных частиц была применена математическая теория групп. Сложность физического эксперимента, предпринятого Брукхэйвенской лабораторией, и особенность поведения искомой частицы указывают на то, что без сознательного поиска и предварительного знания ее свойств, в результате только случайных наблюдений, едва ли можно было ожидать ее скорого открытия.

Чем же объясняется эта эвристическая роль математики? Можно ли назвать это необъяснимым чудом, граничащим с мистикой, или, отклонив этот крайний подход, можно ли считать, что в этом случае исследователь встречается с каким-то новым путем познания, в котором появление самой теории уже не рассматривается как результат отыскания логической совместности экспериментально подтвержденных постулативных соотношений? Или иначе: не поставлен ли теперь вопрос о путях познания по-новому: *сначала теория, и лишь потом и на ее основе — эксперимент?*

Нам представляется, что это не так.

Рассмотрим ближе, в чем и как сказалась эвристическая сила теории групп в изложенном случае. Мы не будем входить в обсуждение обоснования строгого математического определения самого понятия группы *); отметим лишь, что в результате долгого исторического развития выявилось, что теория групп оказывается математическим формализмом, адекватным определенному широко распространенному типу связей в природе, соответственно которым преобразуются свойства физических систем; это могут быть реализуемые превращения одних систем в другие; или же, в общем случае, такие преобразования характеризуют только логически допустимые сочетания свойств в совокупностях различных элементов, что важно для их систематизации. Исторически теория групп получила сильнейший импульс развития в работах Е. С. Федорова, который, применив группы пространственных преобразований (перенос, поворот, зеркальное отображение), установил в 1895 г. возможность существования в природе не более 230 кристаллических форм. Все эти формы — и только они! — были найдены в природе, чем и была доказана адекватность теории групп определенным преобразованиям в природе, ее эффективность для соответствующих исследований.

В результате чего же оказалось возможным предсказать наличие в природе омега-минус-частиц с заранее предвиденными свойствами? Для этого были все предпосылки. С одной стороны, физика уже установила некую совокупность частиц с определенными свойствами (Δ -квартет, Σ -триплет, Ξ -дублет; были известны и иные частицы). Исходный постулативный материал был налицо. С другой стороны, математический формализм теории групп был уже разработан, была доказана реальность отображаемых им связей, его специфика. Следующий шаг состоял в выборе типа симметрии SU_3 , при котором, если его принять, среди известных частиц неоставало одной с определенными свойствами, вытекающими из типа симметрии. Этот выбор соответствует тому, что выше (см. стр. 147) было обозначено как такое звено познания, при котором «реальные связи в природе удалось выразить в адекватной математической форме». Особенность в данном случае состояла в том, что для полноты адекватности нехватало одного элемента. Это резко подчеркнуло гипотетичность постановки проблемы. Последующее экспериментальное открытие гипотетического элемента подтвердило адекватность примененного математиче-

*) Группа предполагает наличие в совокупности преобразований: а) тождественного преобразования; б) преобразований, обратных каждому нетождественному; в) преобразований, эквивалентных двум последовательным преобразованиям.

ского формализма. Особая форма этого подтверждения — открытие частицы с предсказанными свойствами — придала ему особую эффективность. Но нельзя забывать, что теория всегда дает больше, чем заключено в постулатах, на которые она опирается, и ведет к новым открытиям (см. стр. 147). А проверка любой теории (или возможности ее применения) последующими практическими результатами есть необходимый этап в процессе познания. Нетрудно видеть, что и в данном примере последовательная цепь познания не нарушается: факты и соотношения как исходный материал в процессе познания (постулаты) — теория — практическая проверка. Гносеологическая роль и место теории в целостном процессе познания сохраняются и в данном случае: теория всегда выступает как результат отыскания логической совместности экспериментально подтвержденных постулативных соотношений. Таков источник теории, без которого не было бы и самой теории. И только утвердившись, теория выступает перед каким-либо частным экспериментом как его предшественница и провозвестница.

Только в этом аспекте можно понять эвристическую роль теории вообще, математической теории в частности.

7. О единстве логики объективной и логики мышления. Сказанное выше достаточно ясно показывает, какова логическая основа математики и ее эффективности. Не может быть и речи о какой-либо неостижимости этой эффективности, будто бы граничащей с мистикой и не имеющей объяснения.

Все дело, следовательно, в том, что *объективная логика естественных процессов* (в том числе физических, а также экономических, вообще моделируемых) и *логики мышления* (математики) *имеют одну и ту же природу*.

Это — факт исключительного значения. На протяжении настоящей статьи мы неоднократно подводили к нему, пытаясь сделать его ясным для тех, кто над ним еще не задумывался. Но философская мысль осознала эту проблему давно, и это естественно: *единство логики объективной и логики мышления есть обоснование возможности познания вообще*. С особой силой эту идею выразил Энгельс. Он писал: «Над всем нашим теоретическим мышлением господствует с абсолютной силой тот факт, что наше субъективное мышление и объективный мир подчинены одним и тем же законам и что поэтому они и не могут противоречить друг другу в своих результатах, а должны согласоваться между собою. Факт этот является бессознательной и безусловной *предпосылкой нашего теоретического мышления*» *).

Исследуя процесс познания, выдающиеся мыслители и раньше не могли обойти эту проблему. Ее глубоко, но по-своему анализировал в начале прошлого века Гегель, ныне незаслуженно забытый на Западе в угоду неопозитивистам, неокзистенционалистам и т. п. Гегель считал бессодержательной логику, которая ограничивалась только внешней формой. Законы логики, по Гегелю, диктуются содержанием материала, подлежащего осмысливанию. Отсюда — неизбежный переход Гегеля к логике диалектической. Но Гегель, поднимая значение мышления, презрительно относился к природе, полагая разум с большой буквы демпургом всего существующего. Современный, диалектический, материализм перевернул этот тезис Гегеля с головы на ноги, положив за исходное природу. Но при этом он сохранил здоровое зерно гегелевской мысли о том, что логические формы суть формы не внешние, а неразрывно связанные с содержанием. Конспектируя «Науку логики» Гегеля, В. И. Ленин

*) К. Маркс, Ф. Энгельс, Сочинения, изд. 2-е, т. 20, М., Госполитиздат, 1961, стр. 581.

записал в свою тетрадь: «Логика есть учение не о внешних формах мышления, а о законах развития всех материальных, природных и духовных вещей, т. е. развития всего конкретного содержания мира и познания его, т. е. итог, сумма, вывод *истории познания мира*» *) (курсив Ленина).

Опираясь на результаты всей истории познания мира, современный материализм дает естественнонаучное обоснование единства логики объективной и логики мышления. Оно состоит в том, что *логически мыслящее существо само есть часть природы, система, возникшая в результате развития природы в силу имманентных ей законов*.

В аспекте этого единства представляет интерес взглянуть на исторический процесс выработки математического формализма физики. Исторический этот формализм создавался для решения задач механики. На протяжении веков его развитие шло ко все большей абстракции и обобщению — от ньютоновых дифференциальных уравнений, связывающих механические силы с вызываемыми ими ускорениями, через вариационные принципы (в которых варьировались то время, то путь, то, наконец, действие) и ковариантные уравнения Лагранжа к вариационному принципу Гамильтона и его уравнениям движения; в последних найдены соотношения между наиболее общими физическими величинами — изменениями обобщенных координат q и p и частными производными гамильтониана по обобщенным координатам. Место ньютоновского принципа инерции заняли вариационный принцип Гамильтона и закон сохранения энергии.

Когда были найдены эти обобщенные формы, оказалось, что они применимы не только к механическим, но и к более сложным физическим формам движения и даже к квантовым процессам (в которых, например, используются классическая форма гамильтониана, преобразованные скобки Пуассона). В этом процессе обобщения постепенно отпадала или стиралась и преобразовывалась роль чисто механических понятий (дальнействующих сил, траекторий и т. п.); изменялся и обобщался смысл переменных q и p , которые все более теряли связь с чисто механическими понятиями — координатами и импульсами **). Даже само понятие механики претерпело изменение, ибо термин «механика» применяется к квантовым процессам («квантовая механика»), в которых существенную роль играют немеханические понятия — характеристики состояния, энергетические переходы и т. п. И тем не менее обобщенный математический формализм позволял решать и механические задачи, ради чего он, собственно, и создавался.

Теперь ретроспективно, в свете оценки современного значения этого математического формализма, можно рассматривать исторический процесс его выработки уже не как формальное обобщение законов *механического* движения или как поиски решений всё тех же механических задач, а как *выявление единой для всей физики логики объективных отношений*, действующих в природе ***).

*) В. И. Ленин, Философские тетради. Полн. собр. соч., т. 29, стр. 84.

**) Используя каноническое преобразование с производящей функцией $F = \sum q_k Q_k$, можно показать, что обобщенные переменные q и p меняются местами и, следовательно, отрываются от представлений, которые в них вкладывала классическая механика. Заметим, кстати, что в скобке Пуассона трудно найти следы чисто механических представлений.

***) Э. Мах, специально занимавшийся критической историей механики и оказавший сильное влияние на физиков, не понимал смысла описанного в тексте обобщения. Во всех развивавшихся формах законов механики он видел только иное выражение *одного и того же факта* — два тела взаимно вызывают друг у друга ускорения, обратно пропорциональные их массам. Эта идея пронизывает всю его книгу (см.: Э. Мах, Механика. Историко-критический очерк ее развития, СПб., 1909). Это довольно примитивные взгляды, характерные для позитивизма с его представлениями о науке, как о чисто внешнем описании чувственных восприятий.

Именно единство логики объективной и логики мышления позволяет математической теории предсказывать физические явления, еще не открытые экспериментально. Как было сказано выше, предсказание новых фактов характерно для любой целостной теории.

Это единство логики объективной и логики мышления объясняет также и все загадки и чудеса познания, которые не более таинственны и чудесны, чем сама природа.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Гносеологическая концепция Вигнера, как она изложена в рассматриваемой лекции, которой мы ограничились сознательно, не находит подтверждения в развитии науки. Основы познания вовсе не мистичны. Практически из этого исходили и основоположники современных физических теорий. Теоретически их обосновала материалистическая теория познания.

В заключение нам остается еще ответить на вопрос, почему мы считали необходимым проанализировать концепцию, изложенную в этой лекции Вигнера, недавно появившейся на русском языке.

Говорят, что когда одного ученого спросили: «Ты не веришь в бога, а твой сосед верит, что тебе до него: жизнь-то ведь идет своим чередом?», ученый ответил: «Мне не безразлично, молится ли мой сосед: бог где-то ограничивает логику, а это — мой инструмент познания».

В этой легенде есть ответ и на поставленный выше вопрос. *Одна* перспектива развития науки возникает при том аспекте, что эффективность математики непостижима, мистична, и *совсем другая*, когда ясны ее логические основания.

В первом случае представляется, будто успех математики неожидан и случаен, и всюду он выступает как неожиданное чудо, что мы и видели у Вигнера; во втором — физика ставит перед математикой определенные задачи, расширяет область ее исследований, связывает ее с реальными отношениями в природе, способствует углублению разработки математических проблем даже тогда, когда они уже поставлены имманентным ходом развития самой математики. И математика сторицей оплачивает эти импульсы, идущие от физики. На место чуда становится природа, ее законы, ее логика. Такое понимание логической взаимосвязи наук способствует их общему быстрому прогрессу.

* * *

Постскрипtum. Настоящая статья была уже написана, когда в руки автора попала книга Е. Вигнера «Symmetries and Reflections» (1967 г.), в которой опубликован ряд его методологических статей. Просмотр книги показывает, что нет необходимости что-либо менять в настоящей статье. Что касается оценки взглядов Вигнера, то автор удовлетворен тем, что правильно уловил в критикуемой статье их общую тенденцию, как это подтверждает и книга. Его кредо очень выпукло выражено в статье «Два вида реальности»: единственное понятие реальности, которое не только удобно, но и абсолютно, — это содержание моего сознания, включая и мои ощущения; все остальное — вещи, научные понятия, ощущения других людей и т. п. — реальность второй категории, синоним полезности понятия и для нашего собственного мышления, и для связи с другими людьми. Так, «книга — это удобное выражение для описания некоторых ощущений». Вигнер выражает согласие с утверждением Маргенау, будто «мир есть построение из наших ощущений, восприятий, воспоминаний». Тем

самым с полной ясностью раскрывается смысл его положения, что «все законы природы — весьма условные утверждения». Вигнер неоднократно иронизирует по адресу материалистов, обнаруживая при этом упрощенные представления о взглядах современного научного материализма, что, впрочем, характерно для многих западных критиков материализма. Разбор этой философии в связи с темой настоящей статьи не представляется необходимым.

В заключение мне приятно выразить благодарность Р. Я. Штейнману за ценные советы.
