1929 г. Т. IX. ВЫП. 4.

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

4499

КАРТИНА МИРА СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИКИ.[1]

М. Планк, Берлин.

I.

Этой зимой исполнилось двадцать лет с тех пор, как я имел честь и счастье здесь в Лейдене говорить о единстве физической картины мира. Я был приглашен тогда естественно-историческим отделением студенческой корпорации университета. Это приглашение было энергично поддержано письмом моего коллеги Генрика-Антона Лоренца, который оказал мне в своем гостеприимном доме дружеский прием и впервые дал мне почувствовать обаяние своей личности. Именно поэтому мое тогдашнее посещение Лейдена сделалось одним из больших событий моей жизни и пробудило во мне чувство благодарности, которое я храню как сокровище. И если сегодня благодаря особой любезности моих коллег я снова должен говорить перед вами на ту же тему, то я не могу не выразить прежде всего чувства глубокой печали, которая охватывает меня при воспоминании о том времени. Среди нас уже нет нашего глубокочтимого учителя Г. А. Лоренца, нет Камерлинг Онпеса, нет многих других, которые присутствовали тогда. Но наука не останавливается на отдельных личностях; даже наиболее энергичный исследователь в конце концов бывает должен

---

[1] Расширенная речь, читанная в Физическом институте Лейденского университета. Напечатана отдельной книжкой. Изд. J. A. Barth, Leipzig, 1929. *Ред.*

передать начатую им работу более молодым, и обязанность каждого из них состоит в том, чтобы в меру отведенных ему сил участвовать в общей работе.

Я делаю сегодня попытку охарактеризовать развитие физической картины мира с тех пор, хотя я отчетливо сознаю, что мое изложение еще менее может претендовать на полноту и завершенность, нежели тогда, двадцать лет тому назад. Но я могу до некоторой степени утешиться тем, что задача с тех пор сделалась несравненно трудней. Ибо за истекший промежуток времени родились проблемы, которые проникли в наше физическое мышление глубже, чем этого когда-нибудь можно было ожидать. Поэтому мне представляется целесообразным, в интересах отчетливости, начать несколько издалека, рискуя даже останавливаться на давно известных вещах. Зато в последующем мне придется отказаться от изложения отдельных, быть может весьма интересных частностей, так как иначе я должен был бы на слишком продолжительное время занять ваше внимание.

Во всяком случае я буду очень признателен за критику моих рассуждений. Тому, что даже самая острая критика по существу может быть соединена с благожелательностью,— этому сам Лоренц дал особенно яркий пример.

II.

Построение физической науки совершается на основе измерений. И так как каждое измерение связано с чувственным восприятием, то все понятия физики заимствованы из чувственного мира. Поэтому каждый физический закон в конце концов относится к событиям чувственного мира. Принимая во внимание это обстоятельство, некоторые естествоиспытатели и философы склоняются к воззрению, что физика в конечном счете имеет дело с чувственным миром,—и притом, разумеется, с чувственным миром человека; что так называемый „предмет“ в физическом отношении есть лишь комплекс различных связанных ощущений. Следует подчеркнуть, что такое воззрение ни в коем случае не может быть опровергнуто логическим путем. Ибо логика

одна не в состоянии изрлечь кого бы то ни было из его собственного чувственного мира; она не может принудить его признать самостоятельное существование „сочеловека“ (Mitmensch).

Но в физике, как и во всякой другой науке, господствует не только логический разум (Verstand), но также и здравый смысел (Vernunft). Не все, что оказывается лишенным логических противоречий, правильно с точки зрения рассудка (vernünftig). А рассудок говорит нам, что когда мы повернемся спиной к так называемому „предмету“ и отойдем от него, — все-таки что-нибудь от этого предмета да останется. Он говорит нам далее, что отдельный человек, что мы, люди, все вместе, с нашим чувственным миром, вместе со всей нашей планетой — лишь ничто в огромной природе, законы которой не определяются тем, что происходит в маленьком человеческом мозгу, но существовали еще до того как появилась жизнь на земле и будут существовать после того как последний физик исчезнет с ее лица.

Подобными обобщениями, основанными на „житейском опыте“, а не логическими умозаключениями мы вынуждены признать за чувственным миром второй, реальный мир, который ведет самостоятельное, независимое от человека существование, — мир, который мы не можем постигнуть непосредственно, но постигаем через посредство чувственного мира, через посредство известных знаков, которые он нам сообщает, совершенно так же, как если бы мы интересующий нас предмет могли рассматривать только через очки, оптические свойства которых нам совершенно неизвестны.

Кто не может следовать этому мысленному пути и видит во введении по существу непостижимого реального мира непреодолимую трудность, тому можно напомнить, что существует большая разница между законченными физическими теориями, содержание которых можно точно анализировать и при этом устанавливать, что для их формулировки совершенно достаточно понятий чувственного мира, и задачей построения физической теории из некоторого числа пока еще разрозненных измерений. История физики показывает нам,

что эта последняя, неизмеримо более трудная задача всегда разрешалась лишь на основании принятия реального, независимого от человеческих чувств мира, и не может быть никакого сомнения, что и в будущем это так и останется.

К этим двум мирам—чувственному миру и реальному миру—присоединяется еще третий мир, который, пожалуй, следует от них отличать: мир физической науки или физическая картина мира. Этот мир, в противоположность каждому из двух предыдущих, есть осознанное, служащее определенной цели создание человеческого духа и как таковое—изменчивое, подверженное известной эволюции. Задачу физической картины мира можно формулировать двояким образом, смотря по тому, с чем ставится в связь эта картина мира — с реальным или с чувственным миром. В первом случае задача состоит в том, чтобы возможно полнее познать реальный мир, во втором — чтобы возможно проще описать чувственный мир. Было бы бесполезно стремиться: отыскать более правильную из этих двух формулировок-каждая из них, взятая сама по себе, одностороння и неудовлетворительна, ибо, с одной стороны, непосредственное познание реального мира вообще невозможно, а с другой стороны—нельзя и ответить на вопрос, какое описание нескольких связанных чувственных восприятий является наиболее простым. Не раз случалось в истории развития физики, что из двух различных описаний то, которое в течение известного промежутка времени считалось более сложным, впоследствии оказывалось более простым Главное же в том, что обе названные формулировки задачи практически друг другу не противоречат, но, напротив, друг друга дополняют. Первая помогает ощупью стремящейся вперед фантазии исследователя, создающей совершенно необходимые для его работы оплодотворяющие идеи, вторая удерживает его на твердой почве фактов. Этому обстоятельству соответствует и то, что отдельные физики, в зависимости от своего более метафизического или, наоборот, более позитивного умонастроения, свою работу над физической картиной мира направляют в ту или другую сторону.

Но существует кроме метафизиков и позитивистов еще третья группа работников над физической картиной мира. Она характеризуется тем, что ее главный интерес направлен не на связь с реальным или чувственным миром, но на внутреннюю замкнутость и логическое построение физической картины мира. Это — аксиоматики. И их деятельность полезна и необходима. Но и здесь имеется серьезная опасность односторонности, которая лежит в том, что физическая картина мира теряет свое значение и вырождается в бессодержательный формализм. Ибо когда связь с действительностью разорвана, то физический закон представляется уже не соотношением между величинами, которые все измеряются независимо друг от друга, но определением, при посредстве которого одна из этих величин сводится к остальным. Такое истолкование особенно заманчиво потому, что ведь физическую величину можно определить уравнением гораздо точнее, нежели измерением; но оно означает, в конце концов, отказ от истинного значения величины, причем отягощающим обстоятельством является еще то, что так как самое название величины сохраняется, то это легко дает повод к неясностям и недоразумениям.

Итак, мы видим, как одновременно с различных сторон и с различных точек зрения работают над физической картиной мира, стремясь к одной цели — закономерно связать процессы чувственного мира между собой и с процессами реального мира. Понятно, что в различные эпохи исторического развития то одно, то другое направление выдвигается на первый план. Во времена, когда физическая картина мира обнаруживает устойчивый характер, как это было во второй половине прошлого столетия, приобретает большое значение метафизическое направление,—исследователям представляется, что они уже близки к познанию реального мира; зато во времена изменчивости и непостоянства, вроде переживаемого нами, на первый план выступают позитивисты,—исследователи склоняются даже к тому, чтобы сводить все к единственному прочному исходному пункту — к процессам чувственного мира.

Если мы оглянемся на различные изменяющиеся с течением времени и вытесняющие друг друга формы физической картины мира и попытаемся отыскать характеристические формы изменения, то мы должны прежде всего иметь в виду два факта. Во-первых, следует установить, что при всех видоизменениях картины мира, в целом происходит не ритмическое колебание в ту и другую сторону, но непрерывное поступательное развитие в определенном направлении, которое характеризуется тем, что содержание нашего чувственного мира все обогащается, наши знания о нем все углубляются, наше господство над ним все укрепляется. Об этом разительнее всего свидетельствуют практические применения физической науки. То, что мы ныне можем видеть и слышать на значительно больших расстояниях, то, что мы распоряжаемся гораздо большими силами и скоростями нежели предшествующие поколения — этого не могут отрицать даже самые непримиримые скептики, и тем не менее позволительно сомневаться в том, что этот прогресс означает устойчивое обогащение нашего познания, которое в будущем никогда не будет признано заблуждением.

Во-вторых, в высшей степени замечательно, что хотя толчок ко всякому улучшению и упрощению физической картины мира постоянно дается новыми наблюдениями, т. е. процессами чувственного мира, тем не менее физическая картина мира в своей структуре все более удаляется от чувственного мира. Она все более теряет свой наглядный, первоначально-антропоморфный характер, из нее все в большей степени исключаются чувственные восприятия, — стоит только вспомнить о физической оптике, в которой уже больше нет речи о человеческом глазе,—и вместе с тем она по существу своему все более перемещается в область абстрактного, причем чисто формальные математические операции играют все более значительную роль и качественные различия все более сводятся к количественным различиям.

Если сопоставить это второе обстоятельство с ранее названным первым, т. е. с усовершенствованием физической картины мира в отношении ее роли для чувственного мира, то для этого поразительного и, на первый взгляд, парадоксаль-

ного явления, по-моему, можно дать единственное объяснение. А именно — тот факт, что непрерывное усовершенствование связано в то же время с непрерывным удалением физической картины мира от чувственного мира, означает не что иное как приближение к реальному миру. О логическом обосновании этого утверждения, конечно, не может быть и речи, так как ведь и существование реального мира не может быть выведено логическим путем. Но в той же степени невозможно его логическим путем и опровергнуть. Отношение к нему есть скорее дело практического мировоззрения, и старая истина состоит в том, что наилучшее мировоззрение то, которое несет с собой наиболее богатые плоды. Физика представляла бы исключение среди других наук, если бы для нее не сохранял силу закон, согласно которому наиболее плодотворные и значительные результаты исследования получаются всегда на пути к принципиально недостижимой цели познания реальной действительности.

III.

Как изменилась физическая картина мира за последние двадцать лет? Каждый из нас знает, что сдвиг, происшедший за это время принадлежит к самым глубоким когда-либо происходившим в истории науки и что процесс преобразования не закончен полностью и по сию пору. Однако повидимому уже сейчас, в потоке развития, выкристаллизовываются известные характеристические формы структуры новой картины мира, и не напрасна будет попытка обрисовать эти характерные формы хотя бы только для того, чтобы побудить к улучшению этой попытки.

Если мы сопоставим старую и новую картину мира, то прежде всего обнаружится дальнейший значительный шаг вперед в направлении сведения всех качественных различий к количественным. Так, например, пестрое разнообразие химических явлений, повидимому, без остатка сведено к числовым и пространственным соотношениям. По современным воззрениям существует вообще только два первичных вещества: положительное электричество и отрицательное электричество.

Оба состоят из совершенно одинаковых крошечных частиц с противоположными и равными зарядами. Частица положительного электричества называется протон, частица отрицательного электричества — электрон. Всякий электрически нейтральный химический атом состоит из известного числа протонов, которые между собою прочно связаны, и такого же количества электронов, из которых часть прочно связана с протонами и вместе с ними образует ядро атома, тогда как остальные электроны обращаются вокруг ядра.

Так, наименьший атом, атом водорода, состоит из одного единственного протона, который является его ядром, и одного электрона, обращающегося около ядра. Наибольший атом, атом урана, состоит из 238 протонов и такого же количества электронов, из которых однако только 92 двигаются вокруг ядра, в то время как остальные сидят в ядре. Между этими двумя крайностями лежат атомы остальных элементов во всевозможных комбинациях. Химическая природа элементов определяется не полным числом его протонов или электронов, но числом его подвижных электронов, которые мы и называем порядковым номером элемента.

Помимо этого значительного успеха, который однако в конце концов является лишь удачным осуществлением старой мысли, имеющей возраст нескольких столетий, в современной картине мира поражают две новые идеи, которыми она отличается от прежней: принцип относительности и принцип квантов. Обе эти идеи в сущности и придают новой картине ее характеристическое отличие по сравнению со старой. То, что они возникли в науке почти одновременно, следует рассматривать в известном смысле как случайность. Ибо как по своему содержанию, так и по своему воздействию на физическую картину мира они совершенно отличаются друг от друга.

Теория относительности, которая первоначально, казалось, вносит в созданные ею воззрения на пространство и время известную путаницу, на самом деле оказалась завершением здания классической физики. Чтобы наглядно охарактеризовать одним словом положительное содержание специальной теории относительности, ее пожалуй можно назвать слиянием

пространства и времени в одно единственное понятие. Это не значит, что пространство и время сделались совершенно равнозначными, но они связаны между собой совершенно так же, как действительное число и мнимое число связываются в одно понятие комплексного числа; с этой точки зрения Эйнштейн совершил для физики то же самое, что в прошлом столетии Гаусс для математики. И если мы продолжим несколько сравнение, то мы можем сказать, что переход от специальной к общей теории относительности в физике означает нечто подобное переходу от линейных функций к общей теории функции в математике.

Если это сравнение, как и всякое другое, не вполне удовлетворительно, то все-таки оно дает правильное представление о том факте, что введение теории относительности в физическую картину мира означает один из важнейших шагов к объединению и завершению. Это сказывается в тех следствиях, которые она за собой повлекла,—прежде всего в слиянии импульса и энергии, в сведении понятия массы к понятию энергии, в отождествлении инертной и тяжелой массы, в сведении закона тяготения к геометрии Римана.

Насколько коротки эти эпитеты, настолько же необозримо их содержание. Их значение простирается на все процессы природы, начиная от радиоактивных атомов, испускающих волны и корпускулы, вплоть до движения небесных тел, удаленных на миллионы световых годов.

Теория относительности еще не сказала своего последнего слова. Возможно, что здесь еще ожидают нас неожиданности, если только вспомнить, что проблема слияния электродинамики и механики еще ждет своего окончательного разрешения. Равным образом и космологические следствия теории относительности, повидимому, еще не вполне выяснены хотя бы уже потому, что здесь все зависит от оставшегося еще открытым вопроса, обладает ли материя, находящаяся в мировом пространстве, конечной плотностью или нет. Как бы однако ни были разрешены эти вопросы, во всяком случае останется неизменным факт, что теория относительности возвела классическую теорию на высшую ступень завершения и что ее

физическая картина мира получила и в формальном отношении вполне удовлетворительную законченность.

Это обстоятельство, равно как и указание на многочисленные изложения теории относительности, предназначенные для читателей самой разнообразной подготовки, надеюсь, может служить достаточным оправданием того, что я не буду здесь больше задерживаться на ее рассмотрении.

IV.

В очерченную гармоническую картину мира, которая, казалось бы, удовлетворяет своей задаче почти идеальным образом, гипотеза квантов внесла совершенно неожиданные и яркие черты. Если бы мы и здесь попытались одним словом охарактеризовать центральную идею этой гипотезы, то мы могли бы отыскать эту основную идею во введении новой универсальной постоянной: элементарного кванта действия. Эта постоянная и есть тот таинственный посол из реального мира, который вновь и вновь появлялся на сцену при различнейших измерениях, который при этом все более и более настойчиво требовал себе места в физической картине мира, но вместе с тем так мало подходил к этой картине, что в конце концов сломал оказавшиеся слишком тесными рамки этой картины.

Было время, когда казалась не исключенной возможность даже полного крушения классической физики. Однако постепенно выяснилось, — впрочем для каждого, кто верит в непрерывный прогресс науки, это было очевидно с самого начала, — что речь и здесь идет, в конце концов, не о разрушении, но о весьма глубоком преобразовании, которое сводится к обобщению. Ибо если мы положим, что квант действия бесконечно мал, то квантовая физика переходит в классическую физику. Но даже и в общем случае основные устои здания классической физики оказались не только не расшатанными, но благодаря внедрению новых идей они даже выиграли в прочности и солидности. Поэтому целесообразно будет первоначально рассмотреть эти основные устои.

Прежде всего следует назвать их. Универсальные постоянные — постоянная тяготения, скорость света, масса и заряд электронов и протонов — как наиболее осязательные вестники реального мира, неизменно сохранили свое значение и в новой картине мира. Далее — великие принципы сохранения энергии и импульса. Хотя в течение известного времени их справедливость подвергалась сомнению, однако в конце концов они победоносно утвердились во всех своих деталях. При этом, вопреки мнению многих аксиоматиков, вновь с полною ясностью обнаружилось, что эти принципы ни в коем случае не могут рассматриваться как простые определения. Далее следуют начала термодинамики, особенно второе начало, которое благодаря введению абсолютного значения энтропии получило даже более строгую формулировку, нежели в классической физике. Наконец — принцип относительности, который в новой области квантовой физики оказался надежным и осведомленным путеводителем.

Теперь естественно возникает вопрос: если все эти основы классической физики сохранились нетронутыми, то что же собственно изменилось в новой физике? Ответ на этот вопрос мы получим весьма легко, если рассмотрим несколько ближе, что означает элементарный квант действия. Он означает по существу эквивалентность между энергией и частотой: $E=h\nu$. Эта эквивалентность с точки зрения классической теории абсолютно непонятна. Непонятна прежде всего потому, что энергия и число колебаний обладают различной размерностью: энергия есть величина динамическая, число колебаний — кинематическая. Однако это еще не самое главное. Ибо если квантовый постулат непосредственно связывает между собой кинематику и динамику, сводя единицу энергии, а вместе с нею и массы — к единицам длины и времени, то это еще не означает противоречия, но, наоборот, знаменует собою пополнение и обогащение содержания классической теории. Абсолютно противоречивое и потому совершенно несовместимое с классической теорией обнаруживается следующим рассуждением. Число колебаний есть местная величина: она обладает определенным смыслом для некоторого данного места, о каких бы колебаниях ни шла речь — меха-

нических, электрических или магнитных; нужно только наблюдать это место достаточно долгое время. Энергия же есть аддитивная величина. Говорить об энергии в определенном месте, по классической теории, не имеет никакого смысла; нужно прежде всего указать тот физический образ, энергия которого имеется в виду,—совершенно так же как для того, чтобы иметь возможность говорить в определенном смысле о скорости, нужно указать систему координат. И так как физический образ может быть вообще выбран совершенно произвольно,—он может быть больше или меньше,—то в значении энергии всегда имеется известный произвол. И вот эта до некоторой степени произвольная энергия должна быть равна местной величине—числу колебаний! Мы видим, что между этими двумя понятиями обнаруживается зияющее расхождение. Чтобы прикрыть это расхождение, необходимо сделать важный шаг,—шаг, действительно означающий разрыв с воззрениями, которые для классической физики представляются самоочевидными.

До сих пор к предпосылкам всякого каузального физического мышления относилась та, согласно которой все процессы в физическом мире—под физическим миром я, как всегда, разумею физическую картину мира, а не реальный мир,—могут быть представлены состоящими из местных процессов в различных отдельных бесконечно малых элементах пространства, и что каждый из этих отдельных элементарных процессов в своем закономерном течении, вне связи со всеми остальными, однозначно определяется процессами, происходящими непосредственно по соседству в пространстве и во времени. Остановимся на конкретном, достаточно общем случае. Пусть рассматриваемый физический образ представляет собою систему материальных точек, которые двигаются в консервативном силовом поле с постоянной полной энергией. Тогда, по классической физике, каждая отдельная точка в каждый момент времени находится в определенном состоянии, т. е. она обладает определенным положением и определенной скоростью и ее движение может быть полностью вычислено, исходя из ее начального состояния и местных свойств силового поля в тех точках пространства, которые

она проходит во время своего движения. Если же последнее известно, то остальных свойств системы нам и не нужно знать.

В новой механике дело обстоит совсем иначе. По новой механике чисто местные соотношения столь же недостаточны для формулировки законов движения, как недостаточно для понимания значения какой-нибудь картины микроскопическое исследование ее отдельных частей. Как раз напротив, — тогда только и получается пригодная формулировка закономерности, когда физический образ рассматривается как целое. В соответствии с этим, по новой механике, каждая отдельная материальная точка системы в любой момент в известном смысле пребывает одновременно во всех местах пространства, занятого системой, и притом вовсе не силовым полем, которое она вокруг себя распространяет, — нет, пребывает со своей собственной массой и со своим собственным зарядом.

Мы видим, что речь идет не о чем ином, как о материальной точке — самом элементарном понятии классической механики. Приходится пожертвовать центральным значением этого понятия; его можно сохранить только в особых предельных случаях. При этом из дальнейшего хода рассуждения мы увидим, что́ должно быть поставлено на место материальной точки в общем случае.

Если квантовый постулат об эквивалентности энергии и числа колебаний должен иметь однозначный, т. е. не зависящий от системы референции смысл, то, по теории относительности, вектор импульса должен быть эквивалентен вектору волнового числа, т. е. абсолютное значение импульса должно быть эквивалентно обратной длине волны, нормаль к которой совпадает с направлением импульса. При этом волну следует представлять себе не в обычном трехмерном пространстве, но в так называемом „пространстве конфигурации“, число измерений которого равно числу степеней свободы системы и мероопределение которого дается удвоенной кинетической энергией или — что то же самое — квадратом полного импульса. Вместе с тем длина волны оказывается сведенной к кинетической энергии, т. е. к разности постоян-

ной полной энергии и потенциальной энергии, которую следует рассматривать как заданную функцию места.

Число колебаний, помноженное на длину волны, равняется скорости распространения или фазовой скорости некоторой волны в „пространстве конфигурации“ — так называемой волны материи. Подстановка соответствующих значений в известное классической механике волновое уравнение ведет к найденному Шрёдингером линейному однородному дифференциальному уравнению в частных производных, которое является наглядным фундаментом современной квантовой механики и, повидимому, играет в последней ту же роль, что и Ньютоновы или Лагранжевы или Гамильтоновы уравнения в классической механике. При этом, однако, уравнение Шрёдингера резко отличается от последних тем, что в нем координаты „точки конфигурации“ не являются функциями времени, но независимыми переменными. В соответствии с этим для данной системы — в противоположность более или менее значительному, равному числу степеней свободы, числу классических уравнений движения — существует только одно квантовое уравнение. Между тем как точка конфигурации классической теории описывает с течением времени совершенно определенную кривую, точка конфигурации волны материи в каждый данный момент заполняет все бесконечное пространство, даже и те места пространства, где потенциальная энергия больше, нежели полная энергия, так что кинетическая энергия там отрицательна, а импульс — мнимый. Это совершенно подобно случаю так называемого полного отражения, при котором лишь согласно геометрической оптике свет действительно полностью отражается, так как угол преломления становится мнимым, между тем как по волновой оптике свет проникает и во вторую среду, хотя и не в виде плоских волн.

Как бы то ни было, то обстоятельство, что существуют места в пространстве конфигурации, где потенциальная энергия превосходит полную энергию, — это обстоятельство имеет особое значение и для квантовой механики. Ибо вычисление показывает, что в каждом таком случае не всякому

значению константы энергии отвечает конечная волна, но только некоторым совершенно определенным так называемым характеристическим числам, которые приходится вычислять из волнового уравнения и которые — в зависимости от свойств заданной потенциальной энергии — оказываются различными.

Из дискретных значений энергии, отвечающих характеристическим числам, по квантовому постулату получаются дискретные значения периода колебания,— совершенно так же, как у натянутой и закрепленной на концах струны, только в последнем случае квантование обусловлено внешним обстоятельством—длиной струны, тогда как в первом случае— квантом действия, входящим уже в самое дифференциальное уравнение.

Каждому собственному колебанию отвечает особая волновая функция ψ — решение волнового уравнения, и все эти различные функции — фундаментальные функции — образуют элементы описания процесса движения по волновой механике.

Результат получается следующий: в то время как классическая физика совершает пространственное разделение рассматриваемого физического образа на его мельчайшие части и таким путем сводит движение любого материального тела к движениям его отдельных предполагаемых неизменяемыми материальных точек, квантовая физика разлагает каждый процесс движения на отдельные периодические волны материи. Последние отвечают собственным колебаниям и фундаментальным функциям данного образа и вследствие этого ведут к волновой механике. Поэтому по классической механике простейшее движение — движение отдельной материальной точки; по квантовой механике — движение простой периодической волны. И подобно тому как согласно первой наиболее общее движение тела рассматривается как совокупность движений его отдельных точек, по квантовой механике оно рассматривается как взаимодействие всех возможных видов периодических волн материи. Это различие в способе рассмотрения можно наглядно пояснить на примере натянутой струны. Действительно, с одной стороны, в качестве элементарного процесса можно рассматривать движение

отдельных точек струны. Каждая материальная частица струны движется независимо от всех остальных под влиянием действующей на нее силы, определяемой кривизной струны в данном месте. Но, с другой стороны, можно рассматривать в качестве элементов движения основной тон и обертоны струны, — каждый из них относится ко всей струне, и взаимодействие их опять-таки представляет собою наиболее общий тип движения.

Волновая механика позволяет также непосредственно понять одно, до сих пор остававшееся загадочным, обстоятельство. Согласно необычайно плодотворной теории Нильса Бора электроны двигаются вокруг ядра по законам, совершенно аналогичным законам движения планет вокруг солнца. Только вместо силы тяготения действует притяжение противоположно заряженных ядер и электронов. Своеобразное различие состоит однако в том, что электроны двигаются по совершенно определенным дискретным орбитам, между тем как в случае планет ни одна орбита не представляет никаких преимуществ перед другой.

Это первоначально непонятное обстоятельство находит себе в волновой теории электронов весьма наглядное объяснение. Действительно, если электронная орбита сама в себе замкнута, то ясно, что в ней всегда должно укладываться целое число длин волн, совершенно подобно тому как длина цепи замкнутой в кольцо и состоящей из одинаковых звеньев всегда должна быть равна целому числу звеньев. В соответствии с этим обращение электрона похоже не на движение планеты вокруг солнца, но на вращение совершенно симметричного кольца, так что кольцо все время занимает одно и то же положение в пространстве, и нет никакого физического смысла говорить о мгновенном месте электрона.

Но теперь можно задать следующий вопрос: если элементы движения не материальные точки, а волны материи, то как поступает волновая механика, когда ей нужно описать движение отдельной материальной точки, которая в определенный момент занимает определенное положение? Для того чтобы иметь возможность заняться рассмотрением этого вопроса, разрешение которого с особенной ясностью показы-

рает всю непримиримую противоположность обеих теорий, обратимся прежде всего к выяснению физического значения волновой функции ψ простой периодической волны материи. Этот смысл можно установить исходя из того, что энергия волны материи имеет двоякое значение, ибо от того, что она определяет период колебания волны, ее первоначальное значение, вытекающее из принципа сохранения энергии, не исчезает. Но если принцип сохранения энергии остается и в волновой механике, то энергия волны материи должна представляться не только через посредство числа колебаний но также и при помощи интеграла, взятого по всему пространству конфигурации волны.

На самом деле, умножая волновое уравнение на $\bar{\psi}$ [1] и интегрируя затем по всему пространству конфигурации, мы получаем определенное выражение для энергии, которое нагляднее всего можно интерпретировать следующим образом.

Представим себе рассматриваемую систему материальных точек в весьма большом числе экземпляров и каждый экземпляр в иной конфигурации, так что мы получаем весьма большое число точек в пространстве конфигурации. Каждой находящейся в бесконечно-малом элементе пространства точке конфигурации припишем определенную энергию, которая аддитивно складывается из заданного наперед значения местной потенциальной энергии и второго члена, пропорционального квадрату местного градиента ψ; этот второй член мы можем истолковать как кинетическую энергию. Если мы затем пространственную плотность распределения точек конфигурации в некотором месте положим равной квадрату абсолютного значения ψ, которое мы можем принять сколь угодно большим, так как в ψ заключается постоянный фактор произвольной величины, то средняя энергия точек конфигурации представит энергию волны материи. В соответствии с этим абсолютное значение амплитуды волны не имеет вообще никакого физического значения. Если мы представим себе, что ψ нормировано таким образом, что квадрат

[1] Т. е. на комплексную величину, сопряженную с ψ. *Ред.*

абсолютного значения ψ, интегрированный по пространству конфигурации, дает значение 1, то мы можем этот квадрат коротко обозначить вероятностью того, что система материальных точек находится в определенном месте пространства конфигурации, и тем самым получим наглядное выражение для искомого физического смысла ψ.

При всех этих рассуждениях мы исходим от определенной фундаментальной функции ψ и ей соответствующей простой периодической волны. Но мы можем те же положения высказать и для общего случая суперпозиции волн с различными периодами. Тогда волновая функция ψ равна алгебраической сумме периодических фундаментальных функций, помноженных на некоторые амплитудные факторы, и квадрат абсолютного значения ψ снова означает вероятность соответствующего положения точки конфигурации.

В общем случае, конечно, уже нельзя говорить об одном определенном периоде колебания волн материи, но само собой разумеется, как и прежде, можно говорить об определенной энергии, так что здесь квантовое уравнение $E = h\nu$ теряет свой первоначальный смысл и ведет лишь к определению среднего числа колебаний ν. При этом заслуживает упоминания, что при суперпозиции сколь угодно большого числа различных простых периодических волн с почти одинаковыми числами колебаний, энергия волновой функции ни в коем случае не возрастает с числом членов суммы, — хотя самая эта волновая функция равна сумме отдельных волновых функций, — но сохраняет свое первоначальное среднее значение. Как энергия семейства простых периодических волн определяет среднее число колебаний, так импульс семейства определяет среднюю длину волны.

Амплитуды и фазы отдельных простых периодических волн первоначально произвольны. Но тем и исчерпывается многообразие доступных изображению волновой механики механических процессов. Это обстоятельство приобретает особую важность, когда мы обращаемся к поднятому выше вопросу об описании движения отдельной определенной материальной точки на основании волновой механики. Действительно, тотчас же обнаруживается, что такое описание в точ-

ном смысле вообще невозможно. Ибо уже для того чтобы определить положение материальной точки или, говоря вообще, чтобы определить положение известной точки в пространстве конфигурации, волновая механика дает только одно средство: нужно таким образом суперпонировать семейство простых периодических волн физического образа, чтобы их волновые функции всюду в пространстве конфигурации путем интерференции друг друга уничтожали и только в заданной точке — друг друга усиливали. В самом деле, тогда вероятность всех остальных точек конфигурации была бы равна нулю, и только для избранной точки она была бы равна единице. Но для того чтобы совершенно резко выделить эту точку, нужны были бы бесконечно малые длины волн, а следовательно бесконечно большие импульсы. Таким образом, для того чтобы получить по крайней мере приблизительно пригодный результат, нужно положить в основание вместо определенной точки конфигурации конечную, хотя и малую область пространства конфигурации, так называемый волновой пакет. Тем самым уже сказано, что определение положения точки конфигурации по волновой теории всегда связано с известной неопределенностью.

Далее, если нужно рассматриваемой системе материальных точек приписать кроме определенной конфигурации еще и определенную величину импульса, то по квантовому постулату нужно воспользоваться, строго говоря, одной только волной, с совершенно определенной длиной волны, и описание снова невозможно. Но если также и в величине импульса ставить известную небольшую неопределенность, то желаемая цель может быть достигнута, по меньшей мере, с известным приближением путем применения волн, лежащих в тесном интервале частот.

Таким образом, как положение, так и импульс системы материальных точек по волновой механике можно определить лишь с известной неточностью, и притом между обеими неточностями существует определенное соотношение. Это соотношение вытекает из того простого соображения, что примененные волны, если они должны путем интерференции тушить друг друга вне пределов малой области конфигура-

ции, на противоположных краях области, несмотря на их малую разность частот должны однако обнаруживать заметную разность хода. Если заменить разность хода по квантовому постулату разностью импульсов, то получается закон, формулированный Гейзенбергом: произведение неточности в определении положения и неточности в определении импульса по меньшей мере имеет порядок величины кванта действия. Чем точнее определено положение точки конфигурации, тем менее точно известно значение импульса. Обе неточности, таким образом, обнаруживают в известном смысле дополнительность, чему однако положен предел тем, что по волновой механике, при известных обстоятельствах, импульсы можно определить абсолютно точно, между тем как положение точки конфигурации всегда остается в пределах конечной области неопределенным.

Это „соотношение неопределенности" Гейзенберга есть нечто для классической механики совершенно неслыханное. Конечно, всегда было известно, что всякое измерение сопряжено с неточностью; но всегда принималось, что путем соответствующего уточнения методов измерения точность может быть неограниченно повышена. И вот оказывается, что точность измерения подвержена принципиальному ограничению, и самое замечательное при этом то, что это ограничение относится не к одной величине — положению или скорости, но к их комбинации. Каждая величина, принципиально говоря, может быть измерена сколь угодно точно, но всегда за счет точности другой величины.

Как ни странно звучит такое утверждение, тем не менее оно явственно подтверждается различными фактами. Приведем один только пример. Наиболее непосредственное и наиболее тонкое определение положения точки производится оптическим путем — либо путем непосредственного рассматривания простым или вооруженным глазом, либо путем фотографирования. Но для этого нужно точку осветить. В таком случае изображение будет тем резче, а следовательно, измерение — тем точнее, чем короче примененная длина волны. В соответствии с этим можно как угодно повышать точность Но это повышение имеет и оборотную сторону: измерени

скорости. При больших массах можно пренебречь воздействием света на освещаемый объект. Иначе обстоит дело, если объектом является очень малая масса — например отдельный электрон. Ибо каждый световой луч, который падает на электрон и от него отражается, сообщает ему заметный толчок и притом тем более сильный, чем короче длина волны. Поэтому, хотя с укорочением длины волны возрастает точность определения места, но в соответствующем отношении возрастает неточность определения скорости. И то же самое имеет место в аналогичных случаях.

В свете этого воззрения классическая механика, которая исходит от неизменных точно измеримых, движущихся с определенными скоростями корпускул, представляет лишь идеальный предельный случай. То же осуществляется и тогда, когда рассматриваемый образ обладает сравнительно большой энергией. В этом случае дискретные значения энергии лежат близко друг к другу, сравнительно малая область энергии содержит уже многочисленные высокие волновые частоты или — что то же — короткие длины волн, и их суперпозиция позволяет сравнительно резко ограничить в пространстве конфигурации маленький волновой пакет с определенным импульсом. Тогда волновая механика переходит в корпускулярную, дифференциальное уравнение Шрёдингера — в классическое дифференциальное уравнение Гамильтона-Якоби, и волновой пакет движется в пространстве конфигурации по тем же законам, которые управляют движением системы материальных точек в классической механике. Но это длится, вообще говоря, лишь известный промежуток времени. Ибо, так как отдельные волны материи не всегда интерферируют тем же самым образом, волновой пакет более или менее быстро расползается, положение соответствующих точек конфигурации становится все менее резким, и в конце концов только волновая функция ψ остается точно определенной.

Совпадают ли все эти следствия с опытом? Исследование этого вопроса, вследствие малости кванта действия, может быть предпринято лишь в рамках атомной физики и требует поэтому всегда лишь в высшей степени тонких вспомогатель-

ных средств. Предварительно можно только сказать, что до сих пор еще неизвестно ни одного факта, который бы давал повод к сколько-нибудь основательному сомнению в физическом значении всех этих следствий.

Со времени установления волнового уравнения развитие и разработка теории пошло почти стремительным темпом. В рамках этого доклада невозможно изложить все те расширения и применения, которые испытала теория за последние годы. Из первых я только назову введение так называемого собственного вращения электронов и протонов, далее, релативистическую формулировку квантовой механики, из последних — применение к проблеме молекулы и рассмотрение так называемой проблемы многих тел, т. е. применение к образам, состоящим из нескольких или многих совершенно одинаковых материальных точек. При этом последнем применении возникают в особенности вопросы статистического характера, которые относятся к числу возможных различных состояний в изолированном образе с заданной энергией и которые имеют значение также при расчете энтропии образа.

Наконец, я вынужден также отказаться от специального рассмотрения физики световых квантов, которая испытала развитие, в известном смысле противоположное физике материальной точки. Ибо в этой области первоначально господствовала в классической физике Максвеллова теория электромагнитных волн, и только позднее выяснилось, что принятие дискретных световых частиц неизбежно, т. е. что и электромагнитные волны, подобно волнам материи, можно толковать как волны вероятности.

Едва ли существует более яркое доказательство того, что чистая волновая теория так же мало может удовлетворить требованиям новой физики, как и чистая корпускулярная теория. Обе теории представляют предельные крайние случаи. Между тем как характерная для классической механики корпускулярная теория правильно передает положение образа, но оказывается непригодной при определении „собственных значений“ его энергии и импульса, волновая теория, характерная для классической электродинамики, хотя и дает энер-

гию и импульс, но чужда понятию о локализации световых частиц. Общий случай представляет промежуточная область, в которой обе теории играют практически равнозначную роль и к которой можно приблизиться либо с одной, либо с другой стороны, однако пока что — на небольшое расстояние. Здесь еще ждут своего разрешения очень многие темные вопросы, и следует подождать, какой из предложенных для их разрешения методов — первоначально изобретенное Гейзенбергом, Борном и Иорданом матричное исчисление, волновая теория, установленная де Бройлем и Шредингером, или введенная Дираком математика q-чисел — лучше всего приведет к цели.

V.

Если мы попытаемся суммировать предыдущее изложение и вместе с тем получить общий очерк характеристических признаков новой картины мира, то первое впечатление будет безусловно совершенно неудовлетворительное. Прежде всего должно неприятно удивлять, что волновая механика, которая ведь представляет резкую противоположность классической механике, просто пользуется такими заимствованными у последней понятиями, как понятие координат и импульса материальной точки или как понятие кинетической и потенциальной энергии системы точек. Вместе с тем она же утверждает, что совершенно невозможно одновременно точно определить положение и импульс точки. Тем не менее эти понятия совершенно необходимы для волновой механики, ибо без них невозможно построить пространство конфигурации и его мероопределение.

Другая трудность для понимания волновой теории, повидимому, лежит в том, что волны материи не обладают тою степенью наглядности, как, например, акустические или электромагнитные волны, так как волны материи распространяются не в обыкновенном пространстве, но в пространстве конфигурации, и их период колебания зависит от выбора физического образа, к которому они относятся. Чем

протяженнее выбран образ, тем больше его энергия, а вместе с нею и частота колебаний.

С такими возражениями нелегко справиться. Однако они были бы преодолены если бы содержание новой теории, во-первых, не обнаруживало внутренних противоречий, а во-вторых, в своих применениях эта теория давала бы однозначные и важные для эксперимента результаты. Однако даже и в том, насколько квантовая механика удовлетворяет этим требованиям, мнения в настоящее время еще несколько расходятся. Да будет мне позволено поэтому остановиться на этом пункте.

Часто с особым ударением указывают на то, что квантовая механика имеет дело лишь с принципиально наблюдаемыми величинами и лишь с проблемами, имеющими физический смысл. Это, конечно, так и есть, однако это не может быть отнесено на счет теории квантов в качестве ее особого преимущества перед другими теориями. Ибо решить вопрос о том, является ли данная величина принципиально наблюдаемой, или имеет ли известная проблема физический смысл, никогда не возможно a priori, но можно лишь с точки зрения определенной теории. Различие теорий лежит как раз в том, что по одной теории известная величина принципиально наблюдаема, известная проблема физически осмыслена, тогда как по другой теории этого нет. Так, абсолютная скорость земли по теории покоящегося светового эфира Френеля—Лоренца принципиально наблюдаема, по теории относительности — нет. Или абсолютное ускорение тела по Ньютоновской механике принципиально наблюдаемо, по релятивистической механике — нет. Равным образом, проблема построения perpetuum mobile до введения принципа сохранения энергии имела физический смысл, после установления принципа сохранения энергии она этот смысл потеряла. Выбор между этими противоречивыми утверждениями лежит не в природе самих теорий, — он дается опытом. Поэтому для характеристики превосходства квантовой механики над классической недостаточно сказать, что первая имеет дело только с принципиально наблюдаемыми величинами, — это в соответствующем смысле справедливо и в применении

к классической механике, — но нужно фиксировать те именно величины, которые по новой теории принципиально наблюдаемы — или же не наблюдаемы — и затем показать, что опыт это подтверждает.

На самом деле это доказательство, например для рассмотренного выше соотношения неопределенности Гейзенберга, проведено до тех пор, до каких это до настоящего времени было возможно, что и может считаться обоснованием превосходства волновой механики.

Несмотря на эти очевидные успехи, характерное для теории квантов соотношение неопределенности вызвало в широких кругах возражение — очевидно потому, что в согласии с этим соотношением определение величин, с которыми постоянно приходится иметь дело при вычислениях, становится принципиально неточным. При этом неприязненное отношение значительно усиливается тем, что, как мы видели выше, в интерпретацию уравнений квантовой механики вводится понятие вероятности. Ибо тем самым, повидимому, отменяется требование строгой причинности и вместо нее допускается известный индетерминизм. В самом деле, в настоящее время существуют весьма выдающиеся физики, которые считают необходимым в силу обстоятельств пожертвовать строгой причинностью в физической картине мира.

Если бы подобный шаг оказался действительно необходимым, то вместе с тем цель физического исследования весьма сильно проиграла бы, и нам приходилось бы считаться с огромным недостатком. Ибо, если вообще можно делать выбор, по моему мнению, при всех обстоятельствах детерминизм следует предпочесть индетерминизму, хотя бы просто потому, что определенный ответ на вопрос всегда имеет бо́льшую ценность нежели неопределенный.

Однако, насколько я понимаю, ничто нас вовсе не принуждает совершить этот акт отречения. Ибо невозможность дать определенный ответ на вопрос иногда зависит не от свойств теории, но от свойств поставленного вопроса. На физически недостаточно формулированный вопрос и самая совершенная физическая теория не сможет дать определенный ответ. Это уже в рамках классической статистики общеизвестная и хорошо

освещенная истина. Если, например, для двух упругих шаров, сталкивающихся на плоскости, известны во всех деталях как скорости шаров до удара, так и законы удара, то мы все-таки не можем указать их скорости после удара. Действительно, для вычисления четырех неизвестных компонентов скорости обоих шаров после удара в нашем распоряжении имеются только три уравнения: уравнения сохранения энергии и двух компонентов импульса. Однако мы не говорим, что при ударе не имеется причинности, но мы говорим, что для полной детерминированности не хватает существенных данных.

Для того чтобы иметь возможность применить это рассуждение к проблемам квантовой физики, мы должны теперь, под конец, вернуться к тем мыслям, которые мы рассматривали во введении.

Если действительно справедливо, что структура физической картины мира в своей непрерывной эволюции все дальше удаляется от чувственного мира и в соответствующей мере все больше приближается к реальному, принципиально непознаваемому миру, то само собой разумеется, что картина мира все больше и больше должна освобождаться от всех антропоморфных элементов. Таким образом, совершенно невозможно вводить в физическую картину мира понятия, которые каким бы то ни было образом связаны с искусством человеческой техники измерений. Это и не делается никоим образом в соотношении неопределенности Гейзенберга. Ибо последнее непосредственно вытекает из того соображения, что элементы новой картины мира суть не материальные корпускулы, но простые периодические волны материи, соответствующие рассматриваемому физическому образу, и является следствием математического закона, согласно которому невозможно суперпозицией простых периодических волн конечной длины определить известную точку с известным импульсом. С измерениями этот закон ничего общего не имеет, и волны материи со своей стороны однозначно определены математической краевой проблемой, соответствующей рассматриваемому случаю. Об индетерминизме при этом нет и речи.

Однако другой вопрос — об отношении волн материи к чувственному миру, который один нам сообщает сведения о фи-

зических процессах. Ведь о совершенно замкнутом в себе образе мы вообще никогда ничего не узнали бы.

На первый взгляд кажется, что этот вопрос мало относится к физике, так как он отчасти вторгается в область физиологии и даже психологии. Тем не менее из этого возражения не возникают принципиальные затруднения. Ибо всегда можно себе представить, что человеческий орган чувств заменен соответственно конструированным измерительным прибором, саморегистрирующим аппаратом, как например фотографическая пластинка, которая фиксирует возникающие во вне воздействия и таким образом дает нам сведения о процессах, совершающихся в окружающем. Если мы включим такие измерительные приборы в рассматриваемую физическую систему и удалим все остальные воздействия, то мы получим в таком случае замкнутый от внешнего мира физический образ, о котором мы можем кое-что узнать путем измерений, принимая, конечно, во внимание структуру прибора и его возможное воздействие на измеряемые процессы.

Если бы мы обладали таким измерительным прибором, который был бы в состоянии реагировать на отдельные волны материи так же, как, например, акустический резонатор на звуковую волну, то мы могли бы в таком случае измерять в отдельности волны материи и таким образом анализировать весь волновой процесс. Этого конечно нет; напротив, показания измерительного прибора, например фотографической пластинки, не позволяют сделать однозначного заключения о всех деталях исследуемого процесса.

Непосредственное обоснование для принятия индетерминизма можно было бы искать в том обстоятельстве, что, по волновой механике, процессы в замкнутой, изолированной от внешнего мира системе материальных точек ни в коем случае не детерминированы начальным состоянием системы, т. е. начальной конфигурацией и начальным импульсом, и даже не детерминированы приблизительно; ибо в самом деле волновой пакет, который соответствует начальному состоянию, с течением времени растекается и разлагается на отдельные волны вероятности.

Однако ближайшее рассмотрение показывает, что здесь индетерминизм обусловлен лишь постановкой вопроса. Последняя заимствована из корпускулярной механики, в которой действительно начальное состояние однозначно определяет процесс на будущие времена; но эта постановка вопроса не отвечает волновой механике уже потому, что в ней, в соответствии с соотношением неопределенности, фигурирует принципиальная неточность конечной величины.

Но уже со времен Лейбница и в классической механике известна другая постановка вопроса, которая в классической механике также ведет к определенному ответу. Процесс будет полностью детерминирован и притом на все времена, когда кроме конфигурации в известный момент задан не импульс, но конфигурация той же системы в другой момент. Для расчета процесса служит тогда вариационный принцип, принцип наименьшего действия. Так, в приведенном ранее примере плоского упругого удара двух шаров при заданном начальном и конечном положении шаров и заданном промежутке времени три неизвестные, а именно две координаты места и момент соударения, полностью определены тремя уравнениями сохранения.

Эту измененную формулировку проблемы, в противоположность предыдущей, можно перенести также и в волновую механику. Конечно, определенная конфигурация, как мы видели, волновой теорией никогда не может быть фиксирована совершенно точно, однако неточность можно принципиально уменьшить сколь угодно и потому детерминировать процесс с любой степенью точности. Что же касается расползания волнового пакета, то оно вовсе не является доказательством индетерминизма. Ибо волновой пакет может и вновь собраться. Знак времени в волновой теории так же не играет роли как и в корпускулярной. Всякий процесс движения может ведь также протекать и в обратном направлении.

Конечно, при указанной формулировке проблемы определенный волновой пакет, вообще говоря, существует только в обоих выбранных моментах времени. В промежутке, а также до и после, отдельные элементарные волны ведут отдельное существование. Но как бы мы их ни называли — волнами

материи или волнами вероятности — они во всяком случае полностью детерминированы. Таким образом объясняется кажущееся парадоксальным утверждение, что если физический образ из некоторой определенной конфигурации в некоторый определенный промежуток времени переходит в другую известную конфигурацию, то вопрос о конфигурации в промежуточные моменты времени не имеет физического смысла; по этому воззрению, совершенно так же не имеет никакого смысла задаваться вопросом о пути светового кванта, который испускается точечным источником света и поглощается в некоторой точке экрана, служащего для наблюдений.

Следует однако подчеркнуть, что при этом способе рассмотрения смысл детерминизма иной, нежели принятый в классической физике. Ибо там была детерминирована конфигурация, здесь — в квантовой физике — детерминирована волна материи. Разница — особенно важная потому, что конфигурация связана с чувственным миром гораздо более непосредственно, нежели волна материи. В этом смысле в новой физике связь физической картины мира с чувственным миром сделалась значительно менее тесной.

Это, разумеется, недостаток, но с ним приходится примириться, для того чтобы спасти детерминизм в картине мира. Кроме того, этот шаг повидимому делается в том направлении, которое, как уже несколько раз указывалось, является характерным для истинного развития науки. Ибо структура физической картины мира по мере своего усовершенствования все более удаляется от чувственного мира и принимает все более абстрактные формы. А с точки зрения принципа относительности такое представление как будто бы даже неизбежно. Действительно, так как по этому принципу время не обладает никаким преимуществом перед пространством, то отсюда следует с необходимостью, что если для каузального описания физического процесса необходимо рассмотрение конечной области пространства, то для этого также должен быть привлечен и конечный интервал времени.

Но может быть и предложенная здесь постановка вопроса еще слишком одностороння, слишком антропоморфна, и потому непригодна для удовлетворительного построения новой физи-

ческой картины мира, и быть может следует искать иной постановки. Во всяком случае здесь еще нужно разрешить многие сложные проблемы и выяснить многие неясные пункты.

Это своеобразное затруднительное положение, в которое попала в настоящее время теоретическая физика, естественно дает повод для сомнения в том, что теория с ее радикальными новшествами находится на правильном пути. Разрешение этого рокового вопроса зависит единственно от того, насколько при непрерывно прогрессирующей работе над физической картиной мира сохраняется необходимый контакт последней с чувственным миром. Без этого контакта даже наиболее законченная в отношении формы картина мира была бы лишь мыльным пузырем, который лопнул бы при первом дуновении ветра.

К счастью, в этом отношении, по крайней мере в данный момент, мы можем быть совершенно спокойны. Мы можем даже без преувеличения утверждать, что в истории физики не было эпохи, когда теория и опыт шли бы так дружно в ногу как в настоящее время. Ведь именно экспериментальные факты пошатнули и опрокинули классическую теорию. Всякая новая идея, всякий новый шаг был подготовлен и даже вынужден результатами опыта. Как появлению теории относительности предшествовал оптический интерференционный опыт Майкельсона, так теории квантов предшествовали измерения Луммера и Прингсгейма, Рубенса и Курльбаума о распределении энергии в спектре, опыты Ленарда о фотоэлектрическом эффекте, Франка и Герца об электронных толчках. Я зашел бы слишком далеко, если бы стал здесь напоминать те многочисленные, частью совершенно поразительные результаты опытов, которые все дальше сдвигали теорию с классической точки зрения и направляли ее по совершенно определенным путям. Но можно только желать и надеяться, чтобы в этой совместной работе, в которой в мирном соревновании участвуют все страны земли, никогда не наступало разобщенности. Ибо в постоянном взаимодействии экспериментального и теоретического исследования, — во взаимодействии, которое одновременно служит стимулом и контролем, — единственный залог непрерывного прогресса физической науки.