

АЛЬБЕРТ ЭЙНШТЕЙН

СОБРАНИЕ
НАУЧНЫХ ТРУДОВ
В ЧЕТЫРЕХ ТОМАХ

ПОД РЕДАКЦИЕЙ
И. Е. ТАММА,
Я. А. СМОРОДИНСКОГО,
Б. Г. КУЗНЕЦОВА



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
МОСКВА 1967

АЛЬБЕРТ ЭЙНШТЕЙН

СОБРАНИЕ
НАУЧНЫХ ТРУДОВ

IV

СТАТЬИ, РЕЦЕНЗИИ, ПИСЬМА
•
ЭВОЛЮЦИЯ ФИЗИКИ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
МОСКВА 1967

СЕРИЯ «КЛАССИКИ НАУКИ»

Серия основана академиком *С. И. Вавиловым*

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

академик *И. Г. Петровский* (председатель), академик *А. А. Имшенецкий*,
академик *Б. А. Казанский*, академик *В. М. Кедров*,
член-корреспондент АН СССР *Б. Н. Делоне*, профессор *И. В. Кузнецов*
(зам. председателя), профессор *Ф. А. Петровский*, профессор *Л. С. Полак*,
профессор *Н. А. Физуровский*, профессор *И. И. Шафрановский*

2—3—2

ПОДПИСНОЕ ИЗДАНИЕ

АКАДЕМИЯ НАУК СОЮЗА ССР

КЛАССИКИ НАУКИ





ОТ РЕДАКЦИИ

Собрание научных трудов Альберта Эйнштейна завершается четвертым томом.

Работы Эйнштейна отличаются от работ многих других физиков нашего времени тем, что он аккуратно фиксировал в них все этапы своего труда, завершившегося рождением новой физики. Каждая из статей, каждое выступление добавляло новые элементы к создающейся картине физических явлений. Собранные воедино, они, подобно кусочкам мозаики, образуют увлекательную историю физики в ее наиболее бурные годы. Именно их логическая последовательность и цельность исследований заставили выбрать такой вариант издания, в котором были выделены два направления — теория пространства и времени (тома I и II) и теория атомных и статистических явлений (том III). Оба эти направления развивались не независимо, их идеи и работа над ними всегда перекрывались; однако логика исследований проявляет себя ярче, если статьи этих двух направлений читать, не перемешивая. Интересно отметить, что в японском издании 1922 года, о котором мы узнали лишь недавно, был принят такой же план (см. статью 17 и примечания к ней).

Кроме работ, включенных в первые три тома, оставалось еще очень много статей, посвященных более общим вопросам. В этих статьях развивались взгляды Эйнштейна на проблемы творчества, на задачи науки; в них, кроме того, содержатся многочисленные выступления за гуманизм, против войны и фашизма.

При включении такого рода статей в собрание научных трудов очень трудно было решить, где провести границу. Казалось безусловным, что для понимания творчества Эйнштейна очень важно понимать его гносеологические воззрения, его уверенность в способности человека познать окружающий реальный мир. Поэтому работы, собранные в IV томе, составляют органическое дополнение к его основным работам, вошедшим в три предыдущих тома. В конце тома мы поместили популярную книгу «Эволюция физики», написанную Эйнштейном вместе с Л. Инфельдом.

Эта книга хорошо известна советскому читателю — русский перевод ее выдержал уже четыре издания, но без нее Собрание было бы неполным.

За рамками настоящего Собрания остаются политические статьи Эйнштейна. Собрать их и издать — дело чрезвычайно трудное, и оно должно быть осуществлено отдельно. Здесь мы ограничимся лишь указанием на то, что часть выступлений представлена в двух сборниках. Первый из них — немецкий: «Моя картина мира» («Mein Weltbild», 2. Aufl. Frankfurt-am-Main, 1955)¹. Второй — английский: «В мои последние годы» («Out of My Later Years». N. Y., 1950). Из этих двух сборников был составлен смешанный сборник «Идеи и мнения» («Ideas and Opinion». N. Y., 1954)².

Большое число писем и документов собрано в книге «Эйнштейн о мире» («Einstein on Peace». N. Y., 1960). Рискую быть непоследовательными, мы все же включили несколько документов, не имеющих чисто научного характера. К ним относятся, например, письма в Прусскую и Баварскую Академии (статья 56).

Остается, однако, еще очень много несобранных и неизданных писем. В разных архивах хранится переписка Эйнштейна с Бором, Эренфестом, Паули, Луи де Бройлем. Сохранились его письма к советским физикам и много других. Все это еще ждет своего исследователя. Здесь опубликована только переписка Эйнштейна с другом его юности Соловином. Хотя она касается лишь узкого круга вопросов, мы все-таки включили ее в качестве приложения.

Мы не включили в настоящий том биографию Эйнштейна, поскольку на русском языке она публиковалась неоднократно³. Мы даем для справок краткий список основных дат жизни ученого.

Несколько слов об иллюстрациях. Большая их часть взята из альбома, составленного Каном (W. S a h n. Einstein. A pictorial biography. N. Y., 1960). Снимок, помещенный в начале II тома, сделан с портрета неизвест-

¹ Есть английский перевод: «The World, as I see it». N. Y., 1934; французский: «Comment je vois le monde». Paris, 1958 и итальянский: «Como il vede il mondo». Milano, 1955.

² Отметим еще французский вариант сборника: «Conceptions scientifiques, morales et sociales». Paris, 1952. К сборникам работ, уже отмеченным ранее, следует добавить еще итальянский сборник, посвященный 50-летию теории относительности: «Cinquant' anni di relativista. 1905—1955. Le memorie fondamentali di Albert Einstein e il valore della teoria relativistica sotto l'aspetto fisico, matematico, astronomico e filosofico». Firenze, 1955. В этот сборник вошли следующие статьи, помещенные в I и II томах нашего собрания: 1, 2, 38, 42, 44, 134, 141.

³ См., например, книги на русском языке: К. З е л и г. Альберт Эйнштейн. М., 1966, 2-е изд.; Ф. Гернек. Альберт Эйнштейн. М., 1966; Б. Г. Кузнецов. Эйнштейн. М., изд-во «Наука», 3-е изд., 1966; и на немецком: Ph. Frank. Einstein. München, Leipzig, Freiburg, 1949.

ного художника во время пребывания Эйнштейна в Праге. Он предоставлен нам П. Винтернитцем, в семье которого хранится оригинал (Эйнштейн был знаком с философом И. Винтернитцем и написал рецензию на его книгу; см. статью 21). Четыре фотографии, не публиковавшиеся ранее, были присланы нам П. Йеггли из библиотеки Федерального политехнического института в Цюрихе. Среди них — последний снимок, сделанный за месяц до смерти ученого. Одну фотографию обнаружила и передала нам Н. С. Михоэлс.

Мы приносим всем им свою глубокую благодарность. Мы благодарны также Элен Дюкас (США) и А. Гюнтеру (ЦЕРН) за сведения о мало известных статьях и изданиях.

Перевод статей для IV тома был выполнен Ю. А. Даниловым, С. Г. Суворовым и А. М. Френком. Перевод автобиографии (статья 76), сделанный А. Н. Лермантовой и В. А. Фоком, и перевод «Эволюции физики», принадлежащий С. Г. Суворову, перепечатан из прежних изданий (см. примечания к этим статьям). Некоторые статьи из этого тома были вначале опубликованы в сборнике «Физика и реальность». Эти переводы были просмотрены и дополнены, а отдельные статьи были переведены заново. Переводы статьи «Причины образования извилин в руслах рек и так называемый закон Бэра» (статья 24) и статьи «Автобиографические наброски» (статья 88) перепечатаны из журнала «Успехи физических наук».

Примечания к статьям во всех томах русского издания сделаны Я. А. Смородинским.

МАКС ПЛАНК КАК ИССЛЕДОВАТЕЛЬ *

Бразды правления ректоратом Берлинского университета на 1913—1914 учебный год вручены физику-теоретику Макс Планку. Все мы, его коллеги по работе, как близкие, так и далекие, хотим воспользоваться этим случаем, чтобы порадоваться тем достижениям, которыми обязана ему наука.

Первой самостоятельной работой Макса Планка была его диссертация «О втором основном законе механической теории тепла», которую он в 1879 г. в возрасте 21 года представил Мюнхенскому университету. Характерно, что Планк начал свою деятельность в качестве публициста с обсуждения весьма общей темы, перейдя в последующие годы к разработке частных вопросов, непосредственно вытекающих из первого исследования. Это характерно для всей манеры работы Планка, а возможно, вообще для метода, используемого чистыми теоретиками. Они всегда исходят из некоторого наиболее общего положения, выводят из него отдельные частные результаты и затем сравнивают их с опытом.

Первым крупным научным достижением Планка является третья из серии статей, названных «О принципе возрастания энтропии» (*Ann. Phys.*, Bd. 32, 1887, 462). В этой статье рассматривается общая теория химического равновесия, особенно в ее применении к разбавленным растворам. Правда, общие результаты исследования этого вопроса были получены более чем за десять лет до этого Гиббсом, а по отношению к разбавленным растворам — частично Вант-Гоффом. Но работы Гиббса были малоизвестными и труднодоступными. Достижением можно считать уже сам факт признания их ценности: я думаю даже, что Планк не дошел бы до понимания работ Гиббса, не пройди он самостоятельно подобный же путь. Большая ценность указанной работы Планка заключается в том, что он установил для равновесия разбавленных растворов несколько формул такой общности, что

* *Max Planck als Forscher*. *Naturwiss.*, 1913, 1, 1077—1079. (Перевод опубликован в сб.: А. Эйнштейн. Физика и реальность. М., 1965.— *Ред.*)

в них заключаются все выводимые термодинамически закономерности этих растворов. На основании своих общих формул Планк первым, еще до Аррениуса, пришел к выводу, что в водных растворах с «аномально» повышенным давлением паров (соответственно пониженной точкой заморозания или повышенной точкой кипения) растворенное вещество должно быть диссоциировано. Так называемый оствальдовский закон разбавления для бинарных электролитов содержится в общих формулах Планка как весьма частный случай.

О рассмотренных в указанной работе Планка частных термодинамических вопросах мы здесь не будем говорить. Зато мы не должны пропустить появившуюся в 1896 г. в *Ann. Phys.*, Bd. 56 полемическую работу «Против новой энергетике», ибо она несомненно оказала на работающих в этой области значительное влияние. Она представляет собой мастерски написанную краткую заметку, в которой показано, что энергетика как эвристический метод ничего не стоит и даже что она оперирует несостоятельными понятиями. Для каждого сторонника подлинно научного мышления чтение этой остро-полемической заметки является вознаграждением за досаду, испытанную им при чтении тех работ, против которых в ней ведется борьба.

В 1896 г. Планк занялся теорией излучения. Общеизвестно, что его работы в этой области оказали огромное влияние на последующее развитие физики. Без этих работ были бы невозможны большие успехи, достигнутые за последние годы учением о теплоте. Из этих работ вырос тот обширный комплекс результатов, теоретических представлений и вновь возникающих проблем, который всплывает перед физиком при упоминании слова «кванты», одновременно оживляя и затрудняя его существование. Чтобы оценить достижения Планка в этой области, нужно хотя бы бегло рассмотреть развитие теории излучения.

Каждое тело излучает тепло. Вследствие этого любая имеющаяся в непрозрачном теле полость всегда заполнена тепловым излучением. В шестидесятых годах прошлого столетия Кирхгоф установил из простых термодинамических соображений, что это излучение должно быть одинаковым по всем направлениям, а его свойства зависят только от температуры тел, окружающих полость. Обозначим через

udv

энергию излучения для интервала частот dv в единице объема. Тогда u (плотность монохроматического излучения) зависит только от абсолютной температуры T и частоты ν и совершенно не зависит от физической и химической природы стенок полости; $u(\nu, T)$ является, как принято выражаться, универсальной функцией двух переменных ν и T ; ее определение составляет одну из важнейших экспериментальных и теоретических

задач теории излучения. В рамках чистой термодинамики об этой функции ничего нельзя узнать.

Следующий шаг в теории был сделан в 1884 г. Больцманом, показавшим, что для суммарной плотности излучения закон

$$\int_0^{\infty} u dv = \sigma T^4$$

может быть выведен термодинамически, если принять за основу полученный Максвеллом из теории электромагнетизма закон о давлении излучения. Согласно этому закону, отраженное, поглощенное и выделенное поверхностью излучение оказывает на эту поверхность определенное давление. Закон Больцмана позволяет найти плотность суммарного излучения, но он ничего не говорит о спектральном распределении излучения. В 1893 г. появилась важная работа В. Вина, в которой убедительно доказано, что излучение полости при определенной температуре T_1 может быть переведено в излучение другой температуры T_2 путем адиабатического сжатия или, соответственно, расширения области с зеркальными стенками, в которой заключено излучение. Отсюда Вин смог бы определить теоретически функцию u для всех температур, если бы ее зависимость от частоты ν была бы определена хотя бы для одной температуры. Неизвестная функция двух переменных свелась, таким образом, к неизвестной функции одной единственной переменной. Полученный Вином результат (закон смещения) выражается формулой

$$u = \nu^3 f\left(\frac{\nu}{T}\right),$$

где f — неизвестная универсальная функция одной переменной. Если можно было бы положить на весы все мозговое вещество, которое физики пожертвовали на алтарь этой универсальной функции, то получилась бы величественная картина, и этим жестоким жертвоприношениям не видно было конца! Больше того: жертвой ее пала классическая механика, причем нельзя предвидеть, сумеют ли максвелловские уравнения электродинамики пережить кризис, вызванный этой функцией f .

Единственным исследователем, которому усилия в теоретическом определении и понимании функции f принесли успех, был Планк. Он исследовал нерегулярные колебания электрического резонатора с собственной частотой ν_0 в поле излучения, пользуясь законами механики и максвелловской электродинамики. При этом он нашел простое соотношение между средней энергией U колебания резонаторов и монохроматической плотностью излучения, соответствующей частоте ν_0 . Задача излучения была бы, таким образом, решена, если бы удалось выразить энергию U резонаторов

или, вернее, системы очень большого числа резонаторов как функцию температуры. Метод, которым Планк в своей прокладывающей новые пути работе 1901 г. наконец решил эту задачу, столь же рискован, сколь и гениален. Он исходил из установленной Больцманом в теории газов теоремы, согласно которой энтропия S состояния равна умноженному на k логарифму вероятности W этого состояния. Если удалось бы вычислить вероятность, соответствующую определенной энергии монохроматических резонаторов, то можно было бы вычислить энтропию S системы, а отсюда и ее температуру. Этот расчет, который вследствие недостаточности строгого определения W нельзя было провести без известного произвола, привел к формуле излучения

$$u = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}.$$

Эта формула до сих пор строго подтверждается опытом, дающим численные значения констант h и k . Громадный триумф этой работы состоит в следующем. Константа k заимствована из известного принципа Больцмана, где она определяется отношением

$$k = \frac{R}{N} = \frac{\text{Универсальная газовая постоянная}}{\text{Число молекул в грамм-молекуле}}.$$

Полученная из измерений над излучением величина k дает, следовательно, N , т. е. совершенно точно абсолютную величину молекулы; оказывается, что определенная таким способом величина молекулы находится в удовлетворительном согласии с результатами, полученными в теории газов. С тех пор стали известны опирающиеся на совершенно другую основу точные определения N , блестяще подтвердившие результат Планка.

Но каков смысл второй входящей в формулу излучения Планка константы h ? Чтобы получить пригодную формулу излучения, Планк вынужден был предположить, что энергия системы резонаторов состоит из дискретных квантов энергии величиной $h\nu_0$. Это предположение не согласуется с электродинамикой, т. е. не согласуется даже с первой частью исследования самого Планка. В этом заключается та большая трудность, которая занимает теоретиков уже около восьми лет. Чтобы устранить эту трудность, Планк в последние годы видоизменил свою теорию. Добился ли он при этом правильных результатов, должно решить будущее.

Во всяком случае выяснилась не только пригодность самой формулы Планка, но и реальность вспомогательных величин, появившихся при теоретическом рассмотрении вопроса. С одной стороны, при изучении электрооптического эффекта и катодных лучей, испускаемых веществом под воздействием рентгеновского излучения, было установлено, что кван-

ты энергии действительно проявляются при поглощении излучения. С другой стороны, изучение уменьшения удельной теплоемкости твердых тел при низких температурах показало, что зависимость теплоемкости любого тела от температуры соответствует выводам не статистической механики, а планковской теории резонаторов.

Наконец, третья область, в которой Планк добился успеха, — это теория относительности. Тот факт, что теория относительности быстро вызвала большой интерес среди физиков, в значительной степени объясняется теплой и решительной поддержкой, которую ей оказал Планк. Он первым установил релятивистский закон движения материальной точки и показал, что принцип наименьшего действия имеет в теории относительности такое же фундаментальное значение, как и в классической механике. В одном исследовании по динамике системы Планк указал на важную взаимозависимость, связывающую, согласно теории относительности, энергию и инертную массу.

Вспомним наконец о его книгах по термодинамике и тепловому излучению — шедеврах физической литературы. В этих книгах, без которых не обходится ни одна библиотека физика, Планк объединил большую часть важнейших результатов своих исследований, сделав их доступными своим коллегам по профессии. То удовольствие, которое испытываешь, когда берешь в руки эти книги, в немалой степени обусловлено простым, поистине художественным стилем, присущим всем работам Планка. При изучении его трудов вообще создается впечатление, что требование художественности является одной из главных пружин его творчества. Ведь недаром рассказывают, что Планк после окончания гимназии сомневался, посвятить ли себя изучению математики и физики или же музыке.

Пусть неутомимые стремления этого человека к познанию будут плодотворными. Пожелаем, чтобы он и в будущем оказывал науке бесценные услуги, особенно на пути решения тех трудностей, которые сегодня стоят перед нами в результате его же работ.

На русский язык переводилось много книг и статей М. Планка. Среди них: «Лекции по термодинамике», СПб., 1900; «Введение в теоретическую физику» (ч. I, Механика, 1927; ч. II, Механика деформируемых тел, 1927; ч. III, Электричество и магнетизм, 1933; ч. IV, Оптика, 1934; ч. V, Теория теплоты, 1935); «Теория теплового излучения» (перевод с 5-го немецкого издания), 1925; «Термодинамика» (перевод с 7-го немецкого издания), 1925; «Принцип сохранения энергии» (перевод с 4-го немецкого издания), 1938. В 1966 г. в изд-ве «Наука» вышел сборник статей Планка «Единство физической картины мира».

ВСТУПИТЕЛЬНАЯ РЕЧЬ *

Глубокоуважаемые коллеги! Разрешите прежде всего принести вам свою глубокую благодарность за оказанную услугу, наиболее ценную из тех, какую только можно оказать такому человеку, как я. Избравшим в вашу Академию вы освободили меня от волнений и забот службы и позволили полностью посвятить себя занятиям наукой. Заверяю вас в своем чувстве благодарности и настойчивости моих усилий, даже если плоды моих трудов покажутся вам неприметными.

Позвольте мне в связи с этим сделать несколько общих замечаний о месте, которое занимает область моей деятельности, теоретическая физика, по отношению к экспериментальной физике. Один знакомый математик полусуто сказал мне недавно: «Математик на что-то способен, но, разумеется, как раз не на то, что от него хотят получить в данный момент». Аналогично ведет себя часто физик-теоретик, приглашенный дать совет физику-экспериментатору. В чем причина этой характерной неадекватности?

Для применения своего метода теоретик в качестве фундамента нуждается в некоторых общих предположениях, так называемых принципах, исходя из которых он может вывести следствия. Его деятельность, таким образом, разбивается на два этапа. Во-первых, ему необходимо отыскать эти принципы, во-вторых, — развивать вытекающие из этих принципов следствия. Для выполнения второй задачи он основательно вооружен еще со школы. Следовательно, если для некоторой области и, соответственно, совокупности взаимосвязей первая задача решена, то следствия не заставят себя ждать. Совершенно иного рода первая из названных задач, т. е. установление принципов, могущих служить основой для дедукции. Здесь не существует метода, который можно было бы выучить и систематически применять для достижения цели. Исследователь должен, скорее, вывести у природы четко формулируемые общие прин-

* *Antrittsrede*. Sitzungsber. preuss. Akad. Wiss., 1914, p. 2, 739—742.

ципы, отражающие определенные общие черты огромного множества экспериментально установленных фактов.

Если такая формулировка удалась, начинается развитие следствий, которые часто дают непредвиденные соотношения, ведущие далеко за пределы области фактов, из которых были получены принципы. Но до тех пор, пока принципы, могущие служить основой для дедукции, не найдены, отдельные опытные факты теоретику бесполезны, ибо он не в состоянии ничего предпринять с отдельными эмпирически установленными общими закономерностями. Наоборот, он застывает в беспомощном состоянии перед единичными результатами эмпирического исследования до тех пор, пока не раскроются принципы, которые он сможет сделать основой для своих дедуктивных построений.

В подобном положении находится в настоящее время теория, касающаяся законов теплового излучения и молекулярного движения при низких температурах. Лет 15 тому назад не сомневались в том, что, исходя из приложений механики Галилея — Ньютона и теории электромагнитного поля Максвелла к молекулярному движению, можно правильно описать электрические, оптические и тепловые свойства тел. И вот Планк показал, что для установления соответствующего опыта закона теплового излучения нужно воспользоваться методом расчета, несовместимость которого с принципами классической механики становилась все более ясной. Этим методом расчета Планк ввел в физику так называемую квантовую гипотезу, которая за прошедшее с тех пор время была блестяще подтверждена. Этой гипотезой он отверг классическую механику для случаев, когда достаточно малые массы движутся с достаточно малыми скоростями и достаточно большими ускорениями, так что сегодня мы можем рассматривать установленные Галилеем и Ньютоном законы только как предельные. Но несмотря на усилия теоретиков, до сих пор не удалось заменить принципы механики другими, которые бы соответствовали планковскому закону теплового излучения и гипотезе квантов. Хотя установлено с несомненностью, что теплота сводится к движению молекул, мы должны признать, что находимся по отношению к основным законам этого движения в том же положении, в котором до Ньютона астрономы находились по отношению к законам движения планет.

Я только что указал на совокупность фактов, для теоретического рассмотрения которых отсутствуют принципы. Но можно указать также случай, когда четко сформулированные принципы ведут к следствиям, которые полностью или почти полностью выходят за рамки явлений, доступных исследованию в настоящее время. Чтобы узнать, соответствуют ли в этом случае принципы теории истине, понадобится, может быть, многолетняя экспериментальная исследовательская работа. Именно так обстоит дело с теорией относительности.

Анализ основных представлений о пространстве и времени показал, что установленный в оптике движущихся тел закон постоянства скорости света в вакууме отнюдь не вынуждает нас принять теорию некоторого неподвижного эфира. Напротив, нужно построить общую теорию, учитывающую то обстоятельство, что проведенные на Земле опыты ничего не могут сказать о поступательном движении Земли. При этом используется принцип относительности, который гласит: вид законов природы не меняется, если от начальной (принятой за таковую) системы координат перейти к другой, движущейся относительно первой равномерно и прямолинейно. Эта теория получила замечательные экспериментальные подтверждения и привела к упрощению теоретического изложения совокупности фактов, уже приведенных в соответствие друг с другом.

Вместе с тем, с теоретической точки зрения эта теория не дает полного удовлетворения, потому что сформулированный выше принцип относительности отдает предпочтение равномерному движению. Если верно, что с физической точки зрения равномерному движению нельзя приписывать абсолютного смысла, то возникает вопрос: нельзя ли распространить это утверждение и на неравномерные движения? Оказывается, что если положить в основу таким образом обобщенный принцип относительности, то можно достигнуть вполне определенного развития теории относительности. Это приводит к общей теории тяготения, включающей динамику. Но пока отсутствует фактический материал, на котором можно было бы проверить обоснованность положенного в основу принципа.

Мы установили, что индуктивная физика ставит перед дедуктивной, а дедуктивная физика — перед индуктивной вопросы, решение которых требует напряжения всех сил. Пусть объединенные усилия позволят вскоре добиться решающих успехов!

Статья включена в сб. «Mein Weltbild» (стр. 140) под названием «Принципы теоретической физики». Под тем же названием печатался ее английский перевод в «Ideas and Opinions» и русский перевод в сб. «Физика и реальность» (М., 1965).

Речь произнесена Эйнштейном 2 июля 1914 г. после избрания его в Прусскую Академию наук. С ответной речью выступил непременный секретарь Академии Макс Планк. Перевод речи Планка помещен в сборнике: М. П л а н к. «Единство физической картины мира». М., 1966.

РЕЦЕНЗИЯ НА КНИГУ Г. А. ЛОРЕНЦА „ПРИНЦИП ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ“ *

Имеется немало авторов, способных ясно и просто изложить рассматриваемую теорию. Однако результаты почти всегда преподносятся читателю в готовом виде. Он не переживает радости поисков и находок, не ощущает живого процесса становления идей, и ему редко удастся достичь ясного понимания всех обстоятельств, которые позволили избрать именно этот, а не какой-нибудь другой путь. При чтении же той небольшой работы, о которой идет речь в данной рецензии, читатель, напротив, сможет *прочувствовать* весь ход развития идей. Эту небольшую книжку должен прочесть каждый, кто интересуется теорией относительности.

В первой лекции Лоренц дает обзор важнейших фактов, приводящих к (первоначальному варианту) теории относительности, и излагает теорию преобразований Лоренца и их кинематические приложения (лоренцовское сокращение, движущиеся часы, эффект Доплера, опыт Физо). Во второй лекции рассматривается ковариантность уравнений электродинамики в вакууме и законы движения материальных точек. Далее излагается, какие изменения надлежит внести в ньютоновскую теорию тяготения для того, чтобы привести ее в соответствие с требованиями (первоначального варианта) теории относительности. Рассматривается вопрос о том, к каким экспериментально проверяемым (хотя бы в принципе) следствиям это приводит. Связь между инертной массой и энергией системы поясняется на многих примерах. Третья лекция посвящена основам общей теории относительности, подтверждаемой экспериментально. Эта теория позволяет обобщить принцип относительности на случай неравномерного движения. Подробно излагаются физические факты, свидетельствующие в пользу такого обобщения теории. Указаны наиболее очевидные следствия, к которым приводит общая теория относительности. При рассмотрении этих вопросов автор ограничился лишь первым приближением, ибо рассмотрение указанных проблем в их полном объеме далеко выходило бы за рамки этих лекций.

* *Besprechung: Lorentz H. A., Das Relativitätsprinzip. Drei Vorlesungen, gehalten in Teylers Stiftung zu Haarlem. (Deutsch.). Bearbeitet von W. H. Keesom. Leipzig, B. G. Teubner, 1914. Naturwiss., 1914, 2. Jahrgang, 1018.*

**ПРЕДИСЛОВИЕ К КНИГЕ Э. ФРЕЙНДЛИХА
„ОСНОВЫ ТЕОРИИ ТЯГОТЕНИЯ
ЭЙНШТЕЙНА“ ***

В излагаемой далее работе г-н Фрейндлих предпринял попытку разъяснить широкому кругу читателей, из каких идейных и эмпирических источников берет начало общая теория относительности. При чтении этой книги у меня создалось впечатление, что ее автору удалось сделать основные идеи теории относительности доступными для каждого, кто хоть немного знаком с методами мышления в точных науках. Увлекательно изложены связи рассматриваемой проблемы с математикой, теорией познания, физикой и астрономией. Особенно подробно автор останавливается на глубоких идеях математика Римана, намного опередившего свое время. Г-н Фрейндлих не только знаток рассматриваемой области знания и умелый популяризатор ее. Среди своих коллег он был первым, кто принялся за тщательную проверку теории относительности. Пусть же его небольшое сочинение доставит читателю много радости!

Книга Фрейндлиха переводилась на русский язык. (М., Пг., 1924.)

* *Vorwort.* В кн.: E. F. F r e u n d l i c h. Die Grundlagen der einsteinschen Gravitationstheorie. Berlin, Springer, 1916.

РЕЦЕНЗИЯ НА КНИГУ Г. А. ЛОРЕНЦА „СТАТИСТИЧЕСКИЕ ТЕОРИИ В ТЕРМОДИНАМИКЕ“*

Каждому, кто хоть когда-нибудь изучал математические теории, знакомо то неприятное чувство, которое охватывает, когда шаг за шагом прослеживаешь все доказательство и после всех тяжких трудов вдруг осознаешь, что ровным счетом ничего не понял, упустил главную идею, которую автор не подчеркнул либо вследствие неумения ясно выразить свои мысли, либо (что особенно часто встречалось раньше) из-за какого-то непонятного, почти комического кокетства. Помочь этой беде может лишь безграничная честность автора, который не должен бояться давать в руки своих читателей руководящие идеи даже в том случае, если эти идеи несовершенны. В теоретической физике вряд ли существует область, в которой этой заповеди было бы труднее следовать, чем в статистической механике. Всякий, кто знаком с этой областью физики, согласится со мной, что Гиббс в своем основополагающем труде по статистической механике грешит против этой заповеди: многие прочли его книгу, проверили каждый шаг излагаемых в ней доказательств и *ничего не поняли*. Это печальное положение вещей исправлено Лоренцем в его первых трех лекциях, в которых он изложил основы теории в настолько простой математической форме, что все основные идеи выступили особенно отчетливо.

При этом на первый план Лоренц выдвигает принцип Больцмана и тщательно разбирает вопрос о том, как надлежит определять вероятность W в соотношении Больцмана

$$S = \kappa \ln W.$$

Лоренц использует следующее определение:

$$W = \text{Интеграл по фазовому пространству,}$$

* *Besprechung: Lorentz H. A. Les théories statistiques en thermodynamique. Conférences faites au Collège de France en Novembre 1912 rédigées en 1913 par L. Du-noyer. Leipzig — Berlin, B. G. Teubner, 1916. Naturwiss. 4. Jahrgang, H. 31, 4. August 1916, 480—481.*

и показывает, что это определение в сущности совпадает с другим определением, предложенным рецензентом, согласно которому

$$W = \text{Частота.}$$

В этой связи автор подробно останавливается на тех причинах, которые позволяют ему устранить трудности, возникающие, если принять второе, более наглядное определение. На это место я хотел бы особенно обратить внимание читателя.

В двух последних лекциях речь идет главным образом о броуновском движении и флуктуациях. В последней лекции мастерски излагаются применения теории флуктуаций к выводу формулы излучения Планка. При этом подробно разбираются известные статистические свойства излучения, которые нельзя получить, исходя из волновой теории. То, что именно эти вопросы вызвали интерес у Г. А. Лоренца, особенно приятно рецензенту. Каждый физик сможет многому научиться, прочитав эту блестяще написанную книжку.

Русский перевод лекций Лоренца был издан с дополнениями Ю. А. Круткова. См. Г. А. Л о р е н ц. Статистические теории в термодинамике. Л.—М., 1935.

АВТОРЕФЕРАТ РАБОТЫ „ОСНОВЫ ОБЩЕЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ“ *

В этой небольшой по объему работе¹ автор изложил результаты своих исследований по общей теории относительности. Первые 14 страниц посвящены основным идеям теории. Затем следует сжатое, но тем не менее достаточно подробное изложение теории инвариантов в той мере, в какой это необходимо для понимания теории. В последующих трех разделах развивается сама теория, а также указывается ее связь с ньютоновской механикой и теорией гравитации. Автор видел свою основную задачу в том, чтобы как можно более отчетливо показать те методы, которые позволили ему создать общую теорию относительности. Разумеется, в работе ничего не говорится о тех рассуждениях, которые оказались ошибочными или не вели прямо к цели. Подробное изложение основных идей теории, не содержащее математического аппарата, можно найти в только что вышедшей из печати в издательстве Шпрингера брошюре астронома Э. Фрейдлиха «Основы теории тяготения Эйнштейна»².

* *Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie*. Naturwiss., 1916, 4. Jahrgang, 481.

¹ A. Einstein. *Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie*. Leipzig, Johann Ambr. Barth, 1916.

² Ср. статью 4.— *Ред.*

ЭЛЕМЕНТАРНАЯ ТЕОРИЯ ПОЛЕТА И ВОЛН НА ВОДЕ*

Откуда берется подъемная сила крыла наших самолетов и птиц, парящих в воздухе? В этих вопросах царит полная неясность. Должен признаться, что и в специальной литературе я не мог найти на них даже простейшего ответа. Я надеюсь поэтому, что читателю доставит удовольствие, если я попытаюсь восполнить этот пробел с помощью следующих несложных рассмотрений из теории движения жидкости.

Несжимаемая жидкость, внутренним трением которой мы будем пренебрегать, течет по суживающейся трубе (рис. 1) в направлении, указанном стрелками. нас будет интересовать распределение давления в трубе. Так как через каждое сечение в единицу времени должно протекать одно и то же количество жидкости, скорость течения q будет наибольшей там, где площадь сечения минимальна, и наименьшей там, где площадь сечения максимальна. Поэтому на рис. 1 скорость частиц жидкости наименьшая в точке L и непрерывно возрастает по направлению к R . Причиной вызывающей такое ускорение частиц жидкости, является не что иное, как действующая на них сила давления. Рассмотрим частицу F жидкости, занимающую цилиндрический объем. Чтобы эта частица жидкости F имела в данный момент ускорение, направленное вправо, давление на ее заднюю поверхность A должно быть больше давления на ее переднюю поверхность B . Давление на поверхность A превосходит давление на поверхность B . Повторяя эти рассуждения, мы приходим к заключению, что давление в трубе непрерывно падает от L к R . Такое же распределение давления (убывание давления от L к R) мы получим спомощью аналогичного рассуждения и в том случае, когда направление течения жидкости изменится на обратное.

Обобщая сказанное, мы можем сформулировать следующую хорошо известную теорему гидродинамики невязкой жидкости. Если мы просле-

* *Elementare Theorie der Wasserwellen und des Fluges* Naturwiss., 1916, 4. Jahrgang, 509—510.

дим за траекторией какой-нибудь частицы жидкости в стационарном потоке, то давление p всегда будет больше там, где скорость его q меньше,

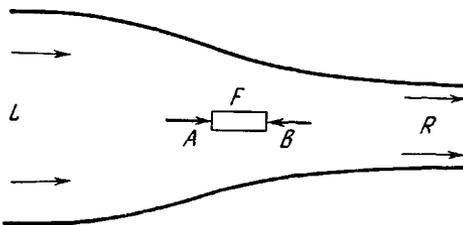


Рис. 1.

и наоборот. Как известно, количественное выражение этой теоремы для несжимаемых жидкостей имеет вид

$$p = \text{const} - \frac{1}{2} \rho q^2,$$

где ρ — плотность жидкости.

Рассмотрим прежде всего один общеизвестный пример, иллюстрирующий эту теорему, — истечение жидкости, находящейся под постоянным

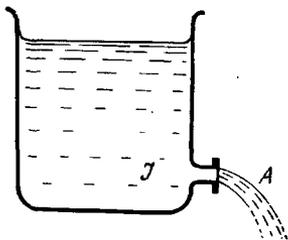


Рис. 2

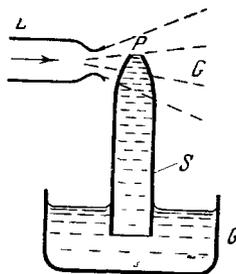


Рис. 3

давлением, из отверстия (Торичелли). В точке J (рис. 2) давление больше, а скорость, наоборот, меньше, чем в точке A , так что выражение

$$p + \frac{1}{2} \rho q^2$$

постоянно во внешней струе.

В качестве второго примера рассмотрим пульверизатор (рис. 3). Воздушный поток, проходящий по трубке L , после выхода из отверстия расширяется во все стороны, уменьшая при этом свою скорость. Поэтому давление в точке P меньше, чем в точке G , и, следовательно, меньше, чем в окружающей точку P покоящемся воздухе. Жидкость из сосуда G за

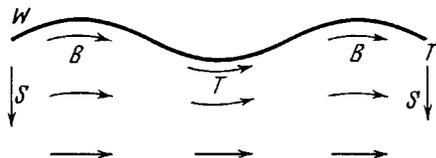


Рис. 4

счет пониженного давления в точке P поднимается вверх и разбрызгивается потоком воздуха на мелкие капельки. (То, что в этом примере мы имеем дело с потоком воздуха, а не с потоком несжимаемой жидкости, в сущности ничего не меняет в наших рассуждениях.)

После этих приготовлений обратимся к рассмотрению волн на воде. Пусть W — твердая стенка, имеющая вид волнистого цилиндра и расположенная перпендикулярно к плоскости чертежа, с одной стороны граничит с потоком жидкости, текущим слева направо (рис. 4). Нам будет интересно сила, с которой жидкость действует на стенку. Ясно, что поперечное сечение потока жидкости в точках B больше, чем в точках T . Следовательно, вблизи точек B жидкость будет течь медленнее, а вблизи точек T — быстрее, чем в тех точках внутри жидкости, которые расположены вдали от стенки W . Поэтому вблизи точек B поток жидкости будет создавать избыточное давление, а вблизи точек T будет наблюдаться разрежение. В результате жидкость будет давить на стенку так, как будто она стремится увеличить ее изгиб. Это означает, что поток не мог бы поддерживаться, если бы поверхность жидкости была свободной и, соответственно, если бы стенка могла неограниченно изгибаться и растягиваться¹.

В этих рассуждениях, как и ранее, мы исходили из предположения, что не существует никаких других причин, вызывающих давление, кроме течения жидкости. Если же в направлении стрелки S действует сила тяжести, то она приводит к появлению в жидкости силы давления, убывающей сверху вниз. Если бы действовала только одна сила тяжести, то давление в точках B было бы меньше, чем в точках T .

¹ Известно, что эти же соображения позволяют объяснить, почему флаг полощется на ветру.

Итак, течение и сила тяжести порождают предпосылки к появлению различных разностей давления между точками B и T . Ясно, что можно так подобрать скорость течения жидкости, что обусловленные обеими причинами результирующие разности давлений между точками B и T будут равны нулю. После этого стенку W можно удалить, не внося при этом никаких возмущений в течение жидкости. В результате мы получим течение жидкости с волнообразно искривленной поверхностью, какую часто можно наблюдать при обтекании потоком какого-нибудь препятствия. Такую картину мы наблюдаем, глядя с моста в воду, если стоим над опорой.

Если же мы задумаем описать весь процесс с точки зрения наблюдателя, движущегося направо со скоростью потока вдали от стенок, то мы придем к обычным волнам на поверхности воды. Для этого наблюдателя жидкость остается в покое, а гребни B и впадины T уплывают с постоянной скоростью назад.

Следовательно, возможность волнообразовательных процессов основывается на том, что статические и динамические разности давления, возникающие между точками с различной высотой, взаимно погашают друг друга.

Совершенно аналогично выглядит и объяснение причин, обуславливающих появление подъемной силы крыла. Пусть в поток жидкости или воздуха вставлена твердая стенка, расположенная параллельно потоку и перпендикулярно плоскости чертежа (рис. 5), на верхней поверхности

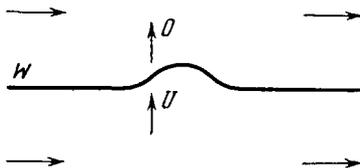


Рис. 5

которой имеется выпуклость. Если бы не было этой выпуклости, то на поверхность стенки, если не считать неизбежного трения, не действовало бы никаких сил. Выпуклость же будет влиять на течение жидкости как у верхней, так и у нижней поверхности стенки, и, таким образом, создаст дополнительное давление.

Для потока, обтекающего стенку снизу, выпуклость создаст местное увеличение поперечного сечения и, следовательно, замедление течения; в результате этого увеличится давление в точке U . На верхней же

поверхности, наоборот, выпуклость означает уменьшение поперечного сечения, а, значит, местное повышение скорости потока и тем самым падение давления в точке O . Таким образом, динамические силы давления, производимого потоком, создают силу, действующую на стенку и направленную вверх. Ясно, что для появления этой силы необходимо лишь, чтобы кусок стенки был настолько велик, насколько это требуется для заметного изгибания потока жидкости. Мы получаем несущее крыло самолета или птицы (не машущей крыльями в полете).

Уже из этих простейших рассуждений видно, что для полета требуется лишь определенная мощность, поскольку необходимо преодолеть сопротивление неизбежного трения. Если бы трения не было, птицы могли бы летать на любые расстояния по горизонтали, не затрачивая при этом никакой работы.

Еще в 1910 г. появились работы Жуковского, о которых Эйнштейн не знал, а потом и работы Кутта.

ЭРНСТ МАХ *

В эти дни от нас навсегда ушел Эрнст Мах, человек, обладавший редкой независимостью взглядов и оказавший огромное влияние на гносеологическую ориентацию естествоиспытателей нашего времени. Способность искренне радоваться созерцанию и познанию мира, amor dei intellectualis Спинозы, была развита у него настолько сильно, что он до глубокой старости смотрел на мир любопытными глазами ребенка и безмятежно радовался, познавая открывающиеся связи явлений этого мира.

Как вообще могло случиться, что столь одаренный естествоиспытатель вынужден был заботиться о теории познания? Разве по его собственной специальности ему не осталось достойной работы? Такие вопросы мне иногда приходится слышать от некоторых моих коллег. Еще чаще такие вопросы если и не задаются вслух, то подразумеваются. Я не могу разделять таких убеждений. Мне приходят на ум наиболее сильные студенты, которых мне довелось встречать в процессе моей преподавательской деятельности, т. е. студенты, отличающиеся не только умением быстро отвечать на вопросы, но и самостоятельностью мышления. Должен сказать, что такие студенты живо интересовались теорией познания. Они охотно вступали в дискуссии о целях и методах науки, и их упорство в отстаивании собственных точек зрения недвусмысленно показывало, что этот предмет представляется им чрезвычайно важным. И этому, право, не следует удивляться.

Если я посвятил себя науке, руководствуясь не такими чисто внешними мотивами, как добывание денег или удовлетворение своего честолюбия, и не потому (по крайней мере, не только потому), что считаю ее спортом, гимнастикой ума, доставляющей мне удовольствие, то один вопрос должен представлять для меня как приверженца науки жгучий интерес: какую цель должна и может ставить перед собой наука, которой я

* *Ernst Mach. Phys. Zs., 17. Jahrgang, 1916, N 7, 101—104.*

себя посвятил? Насколько «истинны» ее основные результаты? Что в них существенно и что зависит лишь от случайностей ее развития?

Чтобы по достоинству оценить заслуги Маха, не следует пытаться ответить на вопрос: «Что нового внес Мах во все эти общие вопросы и что не приходило в голову никому другому до него?» Истину в подобного рода вопросах сильным натурам всегда приходится добывать заново, в соответствии с потребностями своего времени, ради удовлетворения которых и работает творческая личность. Если эта истина не будет постоянно воссоздаваться, то она окажется вообще для нас потерянной. Поэтому так трудно ответить на вопрос: «Что принципиально нового знал Мах по сравнению с тем, что знали Бэкон и Юм? Что существенно отличает его от Стюарта Милля, Кирхгофа, Герца, Гельмгольца, что достигнуто им с общей гносеологической точки зрения в отношении конкретных наук?» Дело в том, что Мах своими историко-критическими статьями, в которых он с такой любовью проследил за процессом становления отдельных наук и раскрыл внутреннюю лабораторию отдельных исследователей, проложивших новые пути в своих областях науки, оказал огромное влияние на ученых нашего поколения. Я даже думаю, что те, кто считает себя противником Маха, вряд ли сознают, сколько высказанных им идей они, так сказать, впитали с молоком матери.

По Маху, наука представляет собой не что иное, как сопоставление и упорядочение реально данных нам ощущений в соответствии с некоторыми постепенно выработанными нами точками зрения и методами. Таким образом, физика и психология отличаются друг от друга не предметом, а точками зрения, в соответствии с которыми упорядочен и объединен материал. Мах видел важнейшую задачу этих наук, занимающих особое место в его исследованиях, в том, чтобы проследживать, как это упорядочение осуществляется в конкретных деталях. В результате такого упорядочения возникают абстрактные понятия и законы (правила), связывающие их. И те, и другие выбираются с таким расчетом, чтобы вместе они составляли схему упорядочения, в соответствии с которой упорядочиваемые данные можно расположить в виде легко обозримых рядов. В силу сказанного понятия имеют смысл лишь в той мере, в какой они позволяют выявить относящиеся к ним вещи, а также точку зрения, в соответствии с которой эти вещи упорядочены (анализ понятий).

Значение таких мыслителей, как Мах, состоит отнюдь не только в том, что они удовлетворяют определенные философские потребности своего времени, которые ученые, занимающиеся конкретными вопросами своей науки, могли бы считать роскошью. Понятия, которые оказываются полезными при упорядочении вещей, легко завоевывают у нас такой авторитет, что мы забываем об их земном происхождении и воспринимаем их как нечто неизменно данное. В этом случае их называют «логически

необходимыми», «априорно данными» и т. д. Подобные заблуждения часто надолго преграждают путь научному прогрессу. Поэтому анализ давно используемых нами понятий и выявление обстоятельств, от которых зависит их обоснованность, пригодность, и того, как они возникают из данных опыта, не является праздной забавой. Такой анализ позволяет подорвать излишне большой авторитет этих понятий. Они будут отброшены, если их не удастся узаконить должным образом, исправлены, если они не вполне точно соответствуют данным вещам, заменены другими, если необходимо создать какую-нибудь новую, в каких-то отношениях более предпочтительную систему.

Ученому, занимающемуся конкретными проблемами, чье внимание привлекают лишь частности, подобный анализ покажется излишним, претенциозным и даже смешным. Однако ситуация меняется, когда развитие соответствующей науки требует, чтобы какое-нибудь обычно употребляемое понятие было заменено новым, более точным. Тогда те, кто обращался с понятиями своей науки, не особенно вдаваясь в их смысл, начинают энергично протестовать и жаловаться на революционную угрозу, грозящую духовным благам. К этим крикам примешиваются голоса и тех философов, которые считают, что не могут обойтись без этого понятия, ибо они включили его в сокровищницу понятий, называемых ими «абсолютными», «априорными», или, короче, провозгласили принципиальную неизменность последних.

Читатель уже догадался, что я имею в виду в основном те понятия учения о пространстве и времени, а также те понятия механики, которые претерпели некоторые изменения под влиянием теории относительности. Никто не может отрицать, что в этом случае теория познания указала путь дальнейшего развития. Что же касается меня лично, то я должен сказать, что мне, прямо или косвенно, особенно помогли работы Юма и Маха. Я прошу читателя взять в руки работу Маха: «Механика. Историко-критический очерк ее развития» — и прочитать рассуждения, содержащиеся в разделах 6 и 7 второй главы («Взгляды Ньютона на время, пространство и движение» и «Критический обзор ньютоновских представлений»). В этих разделах мастерски изложены мысли, которые до сих пор еще не стали общим достоянием физиков. Эти разделы представляют для нас особый интерес еще и потому, что содержат дословно цитированные отрывки из «Начал» Ньютона. Приведем несколько наиболее важных мест.

Ньютон: «Абсолютное, истинное, математическое время само по себе и по самой своей сущности, без всякого отношения к чему-либо внешнему, протекает равномерно, иначе оно называется длительностью».

«Относительное, кажущееся, или обыденное время есть точная или изменчивая, постигаемая чувствами внешняя, совершаемая при посредстве какого-либо движения мера продолжительности, употребляемая в

обыденной жизни вместо истинного, математического времени, как-то: час, день, месяц, год»¹.

Мах: «...Если положение некоторого предмета A изменяется со временем, то это означает лишь, что состояние предмета A зависит от состояния некоторого другого предмета B . Колебания маятника протекают *во времени*, ибо его отклонения зависят от положения Земли. Так как при наблюдении маятника нам не нужно принимать во внимание зависимость его отклонений от положения Земли, мы можем сравнить его отклонение с положением какого-либо другого предмета (...), в результате чего может создаться иллюзия о несущественности всех этих предметов... Мы не в состоянии измерять изменения предметов *во времени*. Более того, время является абстракцией, к которой мы приходим через изменение предметов. У нас нет никакой определенной меры времени, ибо все связано между собой»².

Ньютон: «Абсолютное пространство по самой своей сущности безотносительно к чему бы то ни было внешнему и остается всегда одинаковым и неподвижным».

«Относительное есть его мера или какая-либо его ограниченная подвижная часть, которая определяется нашими чувствами по положению его относительно некоторых тел, которое в обыденной жизни принимается за пространство неподвижное».

Далее следует соответствующее определение понятия «абсолютного движения» и «относительного движения». Вот оно:

«Проявления, которыми различаются абсолютное и относительное движение, состоят в силах стремления удалиться от оси вращательного движения, ибо в чисто относительном вращательном движении эти силы равны нулю, в истинном же и абсолютном они больше или меньше, сообразно количеству движения»³.

Затем следует описание известного опыта с ведром, который должен служить наглядным обоснованием последнего утверждения.

Очень интересна осуществляемая Махом критика этой точки зрения. Я приведу лишь наиболее выразительные места из той же «Механики»⁴.

«Когда мы говорим, что тело K изменяет направление движения и скорость только под действием другого тела K' , мы никогда не сможем узнать этого, если не будет других тел A, B, C, \dots , относительно которых можно было бы судить о движении тела K . Следовательно, мы познаем, собственно

¹ И с а а к Н ь ю т о н. Математические начала натуральной философии. Пер. А. И. Крылова. Пг., 1915, стр. 30. См. также Собр. сочинений А. Н. Крылова, т. 7, М., 1936.— *Прим. ред.*

² Э. М а х. Механика. СПб., 1909, стр. 186.— *Прим. ред.*

³ Н ь ю т о н. Цит. соч., стр. 33.— *Прим. ред.*

⁴ Э. М а х. Цит. соч., стр. 191.— *Прим. ред.*

говоря, некоторое отношение тела K к телам A, B, C, \dots Если же мы не будем принимать в расчет тела A, B, C, \dots и будем говорить о поведении тела K в абсолютном пространстве, то мы совершим при этом двойную ошибку. Во-первых, мы не можем знать, как вело бы себя тело K в отсутствие тел A, B, C, \dots Во-вторых, у нас не будет никаких средств, с помощью которых можно было бы проследить за поведением тела K и проверить наши суждения, которые, в силу этого, не будут иметь никакого физического смысла».

«О движении тела K можно судить лишь по отношению к другим телам A, B, C, \dots Поскольку в нашем распоряжении всегда имеется достаточное количество жестко закрепленных или медленно меняющих свое положение друг относительно друга тел, мы не должны вести отсчет относительно какого-то одного *определенного* тела и исключать из рассмотрения то одно из этих тел, то другое. Отсюда и возникает мнение, будто эти тела вообще несущественны».

«Опыт Ньютона с вращающимся сосудом, наполненным водой, показывает лишь, что при вращении воды относительно стенок сосуда сколько-нибудь заметных центробежных сил не возникает, но что такие силы появляются при вращении воды относительно Земли или других небесных тел. Никто не может сказать, как протекал бы опыт, если бы стенки сосуда становились все толще и массивнее, пока, наконец, не достигли бы толщины в несколько миль...»

Приведенные строки показывают, что Мах ясно понимал слабые стороны классической механики и был недалек от того, чтобы прийти к общей теории относительности. И это за полвека до ее создания! Весьма вероятно, что Мах сумел бы создать общую теорию относительности, если бы в то время, когда он еще был молод духом, физиков волновал вопрос о том, как следует понимать постоянство скорости света. При отсутствии интереса к факту постоянства скорости света, вытекающему из электродинамики Максвелла — Лоренца, потребности Маха в критике оказались недостаточными, чтобы он смог почувствовать необходимость определения одновременности пространственно разделенных событий.

Рассуждения Маха о ньютоновском опыте с ведром показывают, сколь близко его духу было требование относительности в обобщенном смысле (относительности ускорения). Во всяком случае, в этих рассуждениях чувствуется ясное понимание того, что требование равенства инертной и тяжелой массы тел приводит к постулату относительности в более широком смысле, ибо с помощью эксперимента мы не можем отличить, обусловлено ли падение тела относительно некоторой системы отсчета наличием какого-то гравитационного поля или ускорением системы отсчета.

По своим духовным запросам Мах был не философом, избравшим естественные науки объектом своих умозрительных построений, а естество-

испытателем, отличающимся разносторонностью интересов и упорством в работе, которому мог доставить огромное удовольствие какой-нибудь частный вопрос, лежащий в стороне от проблем, привлекавших всеобщее внимание. Именно этим объясняются его многочисленные исследования по конкретным проблемам из области физики и эмпирической психологии, которые он опубликовал частично под своим именем, частично вместе со своими учениками. Из его физических экспериментальных работ наибольшую известность получили исследования звуковых волн, образующихся при полете снарядов. Хотя эти исследования и не были основаны на принципиально новых идеях, они все же показали чрезвычайную одаренность Маха как экспериментатора. Ему удалось с помощью фотосъемки установить распределение плотности воздуха в окрестности снаряда, летящего со сверхзвуковой скоростью, и пролить свет на целый класс неизвестных до него акустических процессов. Его популярная лекция на эту тему доставит каждому радость, какую только может дать физика.

Философские исследования Маха были вызваны лишь желанием выработать точку зрения, позволяющую единым образом рассматривать различные области науки, которым он посвятил всю свою жизнь. Он считал, что все науки объединены стремлением к упорядочению элементарных единичных данных нашего опыта, названных им «ощущениями». Этот термин, введенный трезвым и осторожным мыслителем, часто из-за недостаточного знакомства с его работами путают с терминологией философского идеализма и солипсизма.

При чтении работ Маха чувствуется, что автор получал удовольствие, находя красочные и меткие формулировки для своих мыслей. Однако не только интеллектуальное удовольствие и удовольствие от хорошего стиля делают столь привлекательным чтение его книг. Часто, особенно когда он говорит об общечеловеческих вещах, между строк сквозит его доброжелательное и человеколюбивое отношение к окружающим. Это отношение защитило его от болезни, пощадившей ныне лишь немногих, — от национального фанатизма. В последнем абзаце своей популярной статьи «О явлениях, происходящих при полете снарядов», он не мог не выразить надежду на будущее взаимопонимание между народами.

Поступила 14 марта 1916 г.

В этой статье-некрологе Эйнштейн отмечает роль Маха в критике классической механики. Оценка общей философской позиции Маха была явно неверной, и Эйнштейн впоследствии ее изменил (ср. статью 76).

На русском языке в 1909 г. вышли три книги Маха по физике: «Механика» (перевод с 6-го немецкого издания); «Популярно-научные очерки» (перевод с 3-го немецкого издания); среди них помещен и очерк «О явлениях полета пуль» (очерк XV), который упоминается в некрологе, и «Принцип сохранения работы».

ПАМЯТИ КАРЛА ШВАРЦШИЛЬДА *

11 мая сего года смерть вырвала из наших рядов Карла Шварцшильда. Ему было всего лишь сорок два года. Безвременная кончина этого высокоодаренного и разностороннего ученого является горькой утратой не только для нашей Академии, но и для всех друзей астрономической и физической науки.

В теоретических работах Шварцшильда особенно поражают уверенное владение математическими методами исследования и та легкость, с которой он постигает существо астрономической или физической проблемы. Редко встречаются столь глубокие математические познания в сочетании со здравым смыслом и такой гибкостью мышления, как у него. Именно эти дарования позволили ему выполнить важные теоретические работы в тех областях, которые отпугивали других исследователей математическими трудностями. Побудительной причиной его неиссякаемого творчества, по-видимому, в гораздо большей степени можно считать радость художника, открывающего тонкую связь математических понятий, чем стремление к познанию скрытых зависимостей в природе. Поэтому понятно, почему его первые теоретические работы относились к небесной механике, отрасли знаний, основы которой в гораздо большей степени можно считать окончательно установленными, чем основы какой бы то ни было другой области точных наук. Из этих работ я упомяну здесь лишь работу о периодических решениях проблемы трех тел и работу о теории Пуанкаре равновесия вращающихся жидких масс.

К числу важнейших астрономических работ Шварцшильда относятся его исследования по звездной статистике, т. е. науке, которая по статистическим закономерностям наблюдательных данных о яркости, скорости, спектральных типах неподвижных звезд, к которым относится и наше Солнце, пытается установить строение этих огромных небесных тел. В этой области астрономия обязана ему дальнейшим углублением и развитием закономерностей, открытых фон Каптайном.

* *Gedächtnisrede auf Karl Schwarzschild*. Sitzungsber. preuss. Akad. Wiss., 1916, T. I, 768—770.

Свои глубокие познания в области теоретической физики Шварцшильд поставил на службу теории Солнца. В этой области он заслужил признательность ученых своими исследованиями о механическом равновесии в солнечной атмосфере и процессах, определяющих излучение света Солнцем. Здесь следует упомянуть его изящную работу о давлении света на маленькие шары, позволившую поставить на прочную основу теорию кометных хвостов Аррениуса. Хотя это теоретическое исследование и посвящено решению астрономической проблемы, оно все же показывает, что в круг интересов Шварцшильда входили и чисто физические вопросы. Мы воздаем ему должное за интересные исследования по основам электродинамики. В последний год своей жизни он выдвинул также новую теорию гравитации. С помощью этой теории он впервые сумел точно вычислить гравитационные поля. В последние месяцы своей жизни, когда коварная болезнь уже начала подтачивать его силы, ему удалось выполнить острое исследование по квантовой теории.

К числу крупных теоретических работ Шварцшильда относятся его исследования по геометрической оптике, в которых он улучшил теорию ошибок для важнейших оптических инструментов, применяемых в астрономии. Уже одних этих результатов, позволивших усовершенствовать основное оружие астрономии, достаточно, чтобы признать его огромные заслуги перед этой наукой.

Теоретические работы Шварцшильда тесно связаны с его постоянной деятельностью астронома-практика. С 24-летнего возраста он непрерывно работает в обсерваториях: в 1896—1899 годах в качестве ассистента в Вене, в 1901—1909 годах в качестве директора Геттингенской обсерватории, а с 1909 г. — директором Потсдамского астрофизического института. Его деятельность как наблюдателя и руководителя астрономических наблюдений нашла свое отражение в целом ряде работ. Еще большую пользу, чем эта деятельность, принесли науке открытые им новые методы наблюдений, в которых нашел свое воплощение его живой дух. Он открыл названный в его честь закон почернения фотопластинок (этот закон представляет интерес и для экспериментальной физики), с помощью которого сумел использовать фотографические методы для фотометрических целей. Ему пришла в голову гениальная идея использовать для фотографических измерений яркости звезд экстрафокальные снимки. Благодаря этой идее фотографическая фотометрия звезд впервые получила право на существование наряду с визуальной.

С 1912 г. этот скромный человек был членом Академии. Он сумел обогатить Доклады Академии своими замечательными статьями даже за то короткое время, которое ему еще было суждено прожить. Неумолимая смерть унесла его, но труды его будут продолжать жить и приносить плоды той науке, которой он отдал все свои силы.

РЕЦЕНЗИЯ НА КНИГУ Г. ГЕЛЬМГОЛЬЦА „ДВА ДОКЛАДА О ГЁТЕ“ *

В. Кениг выпустил в издательстве Фивега небольшую (64 страницы) книжку, содержащую два доклада, прочитанных Гельмгольцем в 1853 и 1892 гг. В первом докладе Гельмгольц попытался дать общую характеристику метода исследования Гёте как интуитивного упорядочивания опытных данных при полном игнорировании какой бы то ни было системы абстрактных понятий. Такая точка зрения и присущая Гёте наблюдательность позволили ему проложить новые пути в сравнительной анатомии животных и растений. Тем самым он стал одним из тех предшественников Дарвина, которым удалось достичь наиболее ценных результатов. Но та же самая точка зрения заставила его занять отрицательную позицию по отношению к системе понятий физики. Так, Гельмгольц объясняет бурную полемику, которую Гёте вел против ньютоновской теории цветов. Гёте отвергал эту теорию как таковую, не считая необходимым сравнивать с опытом те или иные следствия из теоретических соображений.

Второй доклад с восторгом прочтет каждый, кому может доставить радость научный подход к познанию мира. Здесь старый Гельмгольц, который всю свою жизнь провел в борьбе за научное познание, показывает, как Гёте исключил себя из созданной им картины мира. Особенно ясно вырисовывается в этом докладе отношение Гельмгольца к теории познания и, в частности, к теории познания Канта. Дорогой читатель! Высказывать какие-либо суждения по поводу этой книги означало бы заниматься профанацией. Лучше прочтите ее сами!

* *Besprechung: H. v. Helmholtz, Zwei Vorträge über Goethe.* Braunschweig, 1917. Naturwiss., 5. Jahrgang, 1917, 44, 675.

МАРИАН СМОЛУХОВСКИЙ *

5 сентября от нас ушел один из самых проникательных современных теоретиков, Мариан Смолуховский. Он умер, едва достигнув 45 лет, в Кракове во время эпидемии дизентерии.

Круг научных интересов Смолуховского охватывал молекулярную теорию теплоты. Особенно его интересовали те следствия из молекулярной кинетики, которые нельзя было понять с точки зрения классической термодинамики; он чувствовал, что, только изучив эти явления, можно будет преодолеть сильное сопротивление, которое оказывали молекулярной теории ученые конца XIX в.

То же скептическое мышление, которое значительно продвинуло электродинамику, очистив ее от ненужных механических образов, одновременно тормозило развитие учения о теплоте. После того как физики поняли, что теория может быть ясной и полной, не будучи основанной на механике, они отказались от механических теорий во всех областях физики. Поэтому понятно, почему Больцман в 1898 г. с печалью писал в предисловии ко второй части «Лекций по теории газов»: «По моему мнению, науке был бы нанесен серьезный урон, если бы из-за господствующих ныне враждебных настроений теория газов была бы предана временному забвению, подобно тому, как это случилось с волновой теорией из-за авторитета Ньютона»¹.

Уже в этом предисловии имелось указание на появившуюся в том же году теоретическую работу Смолуховского о скачке температуры между стенкой и газом при распространении тепла в сильно разреженных газах. Это явление, открытое еще за 23 года до того Варбургом и Кундтом, действи-

* *Marian von Smoluchowski*. Naturwiss., 1917, 5, 737—738.

¹ L. Boltzmann. Vorlesungen über Gastheorie. 2. Teil, 1933. [В русском переводе (Л. Больцман. Лекции по теории газов. М., 1953) это предисловие опущено.— *Ред.*]

тельно было сильным аргументом в пользу молекулярной кинетики. Каким образом можно было удовлетворительно объяснить увеличение скачка температуры между стенкой и газом при дальнейшем разрежении газа без помощи чуждого классическому учению о теплоте понятия длины свободного пробега?

Но чтобы изменить мнение противников механической теории тепла, нужны были еще более убедительные доказательства. Существование скачка температуры вряд ли можно было понять без кинетической теории, но реальность теплового движения еще не вытекала непосредственно из этого явления. Кинетической теории теплоты удалось добиться общего признания лишь в 1905—1906 гг., когда было доказано, что она может количественно объяснить давно открытое хаотическое движение взвешенных в жидкости микроскопических частиц, т. е. броуновское движение. Смолуховский создал особенно изящную и наглядную теорию этого явления, исходя из кинетического закона равномерного распределения энергии. Согласно этому закону, частица диаметром в 1 мк (с плотностью воды) должна двигаться в жидкости, находящейся в термодинамическом равновесии, с мгновенной скоростью в среднем около 3 мм/сек . Показав, что внутреннее трение постоянно уничтожает эту скорость, а неупорядоченные соударения восстанавливают ее, Смолуховскому удалось дать количественное объяснение явления.

Познание сущности броуновского движения привело к внезапному исчезновению всяких сомнений в достоверности больцмановского понимания термодинамических законов. Стало ясно, что термодинамическое равновесие в точном смысле слова вообще не существует, что скорее каждая надолго предоставленная самой себе система совершает беспорядочные колебания вокруг состояния идеального термодинамического равновесия. Тем не менее, как показывает общая теория, поскольку эти флуктуации очень малы, они в целом ускользают от наблюдения. Но в 1908 г. Смолуховскому удалось найти вторую группу наблюдаемых явлений, в которых эти флуктуации проявляются почти непосредственно. Это — опалесценция газов и жидкостей в критическом состоянии. Чем больше сжимаемость вещества или отдельной составной части этого вещества, тем больше непрерывные пространственно-временные флуктуации, испытываемые плотностью вследствие хаотичности теплового движения; на основе общей теории Смолуховский определил, что эти флуктуации должны привести к оптическому помутнению вещества. Голубой цвет неба, объяснение которому дал лорд Рэлей, также принадлежит к этой группе явлений, доказывающих существование пространственных флуктуаций плотности воздуха.

Остальные научные работы Смолуховского нельзя здесь рассматривать в отдельности. Но нужно напомнить о двух циклах докладов, которые он прочитал в 1913 и 1916 гг. по приглашению Гёттингенского

научного общества и которые были опубликованы в журнале «Physikalische Zeitschrift». Они дают хороший обзор деятельности этого так рано покинувшего нас ученого на протяжении всей его жизни. Каждый, кто близко знал Смолуховского, любил в нем не только остроумного ученого, но и благородного, тонкого и благожелательного человека. Мировая катастрофа последних лет возбудила в нем чувство неопишуемой боли за жестокость людей и за ущерб, причиненный нашему культурному развитию. Судьба слишком рано оборвала его благодатную деятельность в качестве исследователя и педагога; но мы будем высоко ценить пример его жизни и его труды.

Перевод статьи напечатан в сб. «Физика и реальность». В сб. «Броуновское движение» (М.— Л., 1936) включены 11 работ Смолуховского.

МОТИВЫ НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ*

Храм науки — строение многосложное. Различны пребывающие в нем люди и приведшие их туда духовные силы. Некоторые занимаются наукой с гордым чувством своего интеллектуального превосходства; для них наука является тем подходящим спортом, который должен им дать полноту жизни и удовлетворение честолюбия. Можно найти в храме и других: плоды своих мыслей они приносят здесь в жертву только в утилитарных целях. Если бы посланный богом ангел пришел в храм и изгнал из него тех, кто принадлежит к этим двум категориям, то храм катастрофически опустел бы. Все-таки кое-кто из людей как прошлого, так и нашего времени в нем бы остался. К числу этих людей принадлежит и наш Планк, и поэтому мы его любим.

Я хорошо знаю, что мы только что с легким сердцем изгнали многих людей, построивших значительную, возможно, даже наибольшую, часть науки; по отношению ко многим принятое решение было бы для нашего ангела горьким. Но одно кажется мне несомненным: если бы существовали только люди, подобные изгнанным, храм не поднялся бы, как не мог бы вырасти лес из одних лишь вьющихся растений. Этим людей удовлетворяет, собственно говоря, любая арена человеческой деятельности: станут ли они инженерами, офицерами, коммерсантами или учеными — это зависит от внешних обстоятельств. Но обратим вновь свой взгляд на тех, кто удостоился милости ангела. Большинство из них — люди странные, замкнутые, уединенные; несмотря на эти общие черты они в действительности сильнее разнятся друг от друга, чем изгнанные. Что привело их в храм? Нелегко на это ответить, и ответ, безусловно, не будет одинаковым для всех. Как и Шопенгауэр, я прежде всего думаю, что одно из наиболее сильных побуждений, ведущих к искусству и науке, — это желание уйти от будничной жизни с ее мучительной жестокостью и безутешной пустотой, уйти от уз

* *Motiv des Forschens*. В сб. «Zu Max Plancks — 60. Geburtstag: Ausprachen in der Deutsche physikalische Gesellschaft». Karlsruhe, 1918, 29—32.

вечно меняющихся собственных прихотей. Эта причина толкает людей с тонкими душевными струнами от личных переживаний в мир объективного видения и понимания. Эту причину можно сравнить с тоской, неотразимо влекущей горожанина из шумной и мутной окружающей среды к тихим высокогорным ландшафтам, где взгляд далеко проникает сквозь неподвижный чистый воздух и наслаждается спокойными очертаниями, которые кажутся предназначенными для вечности.

Но к этой негативной причине добавляется и позитивная. Человек стремится каким-то адекватным способом создать в себе простую и ясную картину мира для того, чтобы оторваться от мира ощущений, чтобы в известной степени попытаться заменить этот мир созданной таким образом картиной. Этим занимаются художник, поэт, теоретизирующий философ и естествоиспытатель, каждый по-своему. На эту картину и ее оформление человек переносит центр тяжести своей духовной жизни, чтобы в ней обрести покой и уверенность, которые он не может найти в слишком тесном головкружительном круговороте собственной жизни.

Какое место занимает картина мира физиков-теоретиков среди всех возможных таких картин? Благодаря использованию языка математики эта картина удовлетворяет наиболее высоким требованиям в отношении строгости и точности выражения взаимозависимостей. Но зато физик вынужден сильнее ограничивать свой предмет, довольствуясь изображением наиболее простых, доступных нашему опыту явлений, тогда как все сложные явления не могут быть воссозданы человеческим умом с той точностью и последовательностью, которые необходимы физику-теоретику. Высшая аккуратность, ясность и уверенность — за счет полноты. Но какую прелесть может иметь охват такого небольшого среза природы, если наиболее тонкое и сложное малодушно и боязливо оставляется в стороне? Заслуживает ли результат столь скромного занятия гордого названия «картины мира»?

Я думаю — да, ибо общие положения, лежащие в основе мысленных построений теоретической физики, претендуют быть действительными для всех происходящих в природе событий. Путем чисто логической дедукции из них можно было бы вывести картину, т. е. теорию всех явлений природы, включая жизнь, если этот процесс дедукции не выходил бы далеко за пределы творческой возможности человеческого мышления. Следовательно, отказ от полноты физической картины мира не является принципиальным.

Отсюда вытекает, что высшим долгом физиков является поиск тех общих элементарных законов, из которых путем чистой дедукции можно получить картину мира. К этим законам ведет не логический путь, а только основанная на проникновении в суть опыта интуиция. При такой неопределенности методики можно думать, что существует произвольное число

равноценных систем теоретической физики; в принципе это мнение безусловно верно. Но история показала, что из всех мыслимых построений в данный момент только одно оказывается преобладающим. Никто из тех, кто действительно углублялся в предмет, не станет отрицать, что теоретическая система практически однозначно определяется миром наблюдений, хотя никакой логический путь не ведет от наблюдений к основным принципам теории. В этом суть того, что Лейбниц удачно назвал «предустановленной гармонией». Именно в недостаточном учете этого обстоятельства серьезно упрекают физики некоторых из тех, кто занимается теорией познания. Мне кажется, что в этом корень и прошедшей несколько лет назад полемики между Махом и Планком.

Горячее желание увидеть эту предустановленную гармонию является источником настойчивости и неистощимого терпения, с которыми, как мы знаем, отдался Планк общим проблемам науки, не позволяя себе отклоняться ради более благодарных и легче достижимых целей. Я часто слышал, что коллеги приписывали такое поведение необычайной силе воли и дисциплине, но мне представляется, что они не правы. Душевное состояние, способствующее такому труду, подобно религиозности или влюбленности: ежедневное старание проистекает не из какого-то намерения или программы, а из непосредственной потребности.

Он здесь вместе с нами, наш дорогой Планк; он внутренне посмеивается над этим моим ребяческим манипулированием фонарем Диогена. Наша симпатия к нему не нуждается в банальном обосновании. Пусть любовь к науке продолжает украшать ему жизнь и приведет его к разрешению им самим поставленной и значительно продвинутой важнейшей физической проблемы нашего времени. Пусть ему удастся объединить квантовую механику, электродинамику и механику в логически стройную систему.

Эта речь включена в сб. «Mein Weltbild» (Amsterdam, 1934) под заглавием «Принципы научного исследования». Русский перевод был напечатан в сб. «Физика и реальность».

РЕЦЕНЗИЯ НА КНИГУ ГЕРМАНА ВЕЙЛЯ „ПРОСТРАНСТВО, ВРЕМЯ, МАТЕРИЯ“ *

Отдельные части этой книги невольно хочется перечитывать вновь и вновь, ибо каждая ее страница написана необычайно уверенной рукой мастера, досконально изучившего свое дело. Замечательно, что новой областью науки занялся столь выдающийся математик. Он сумел слить воедино математическую строгость и наглядность. Физик сможет ознакомиться по его книге с основами геометрии и теории инвариантов, а математик — с основами теории электричества и гравитации.

Автор исходит из аффинной геометрии, основанной на понятии *параллельного переноса*. Именно из этого понятия выросли понятия вектора и тензора. Вводя фундаментальное понятие метрики (скалярного произведения двух векторов), он приходит к евклидовой геометрии. Тензорное исчисление очень удачно излагается на примерах механики и максвелловской электродинамики, причем последняя излагается особенно изящно и систематично (первая глава).

Вторая глава представляет собой введение в абсолютное дифференциальное исчисление, т. е. в риманову геометрию. Здесь особенно поражает то, как в руках Вейля самые сложные вещи становятся простыми и понятными. Сначала рассматриваются обе «неевклидовы» геометрии, а затем — гауссова теория поверхностей и ее обобщение, данное Риманом на случай многомерных многообразий, которое и составляет формальный базис общей теории относительности. При этом особо отмечаются успехи, достигнутые в последнее время, которыми мы обязаны исследованиям Леви-Чивиты, Вейля и Гессенберга римановского тензора кривизны.

После того, как читатель полностью овладел формальным аппаратом, излагается специальная (в третьей главе) и общая (в четвертой главе) теория относительности, причем специальная на 59, а общая — на 54 стра-

* *Besprechung: Hermann Weyl. Raum — Zeit — Materie. Vorlesungen über allgemeinen Relativitätstheorie. Berlin, Julius Springer, 1918. Naturwiss., 1918, 6. Jahrgang, 373.*

ницах. Здесь особенно наглядно видно, что Вейль не только мастерски владеет математической формой, но и способен глубоко проникать в физическое существо задачи.

Особые заслуги Вейля связаны с интегрированием уравнений гравитационного поля. Содержание последних параграфов показывает, насколько ясно и просто может решить эту задачу *прирожденный* математик. Каждому, кто пожелает сам поработать в этой области, рецензируемая книга окажет неоценимую услугу, не говоря уже о той радости, которую доставит ее изучение.

Для полноты следует упомянуть, что я не совсем согласен с точкой зрения автора по поводу смысла закона сохранения энергии, а также по вопросу о соотношении между утверждениями теоретической физики и действительностью. Кроме того, я хотел бы, чтобы во втором издании был более отчетливо показан физический смысл расстояния между двумя точками (как непосредственного результата измерения с помощью масштабных линеек и часов). Это позволило бы достичь большей полноты изложения с точки зрения физика. Книга предполагает у читателя способность к точному мышлению, но не предполагает никакой особой подготовки. Труд, затраченный на прочтение этой книги, окупится с лихвой, и вряд ли найдется кто-нибудь, кто не почерпнет для себя из нее хоть что-нибудь новое.

Книга Вейля выходила несколько раз. Последнее (пятое) немецкое издание вышло в 1923 г.

ЛЕО АРОНС КАК ФИЗИК *

К нашему глубокому прискорбию, от нас ушел человек, чье скромное величие навсегда останется в памяти тех, кто знал его труды и судьбу: физик Лео Аронс. Гражданские чувства и стремление к справедливости привели его в круг социалистов, заставили его публично выступить в защиту своих социалистических убеждений, несмотря на все препятствия и враждебность, с которыми ему пришлось столкнуться в государстве, руководимом реакционерами. В кругу наших академиков он был одной из тех редких личностей, которые отличаются не только самостоятельностью, но и независимостью характера. Ему были свойственны полное пренебрежение к предрассудкам своей касты и готовность к самопожертвованию. То, что он делал, было для него чем-то самим собой разумеющимся. Свой долг он выполнял скромно, не делая широких жестов и не изображая из себя мученика.

Как физик, не знавший покойного лично и не принадлежавший к числу его сотрудников, я могу судить лишь о тех его научных работах, которые были опубликованы. Непосвященный, глядя на стопку небольших тетрадей, содержащих труд всей жизни физика, даже не подозревает, с каким трудом удастся достичь непритязательных на первый взгляд результатов в столь тонкой области. Физик же видит утешение в том, что полученные им ценой упорных усилий результаты навсегда останутся достоянием науки.

Вся научная деятельность Аронса была в основном посвящена экспериментальному исследованию тех электрических явлений, теория которых была разработана Максвеллом. К этому кругу проблем принадлежит уже его диссертация, защищенная в 1884 г., в которой проводилось точное исследование вращения плоскости поляризации света под действием магнитного поля. В 1888 г. он занялся весьма тщательным исследованием максвелловской теории электрического сопротивления в диэлектриках. В этой работе Аронс показал, что электрическое сопротивление в конденсаторах

* *Leo Arons als Physiker*. Sozialistische Monatshefte, 1919, 52, 1055—1056.

связано с неоднородностями проводимости в диэлектрике. Непреходящее значение имеет и его работа по определению диэлектрической постоянной проводящих жидкостей (часть этой работы была выполнена совместно с Эмилем Кохом). Вместе с Эмилем Кохом в 1888 г. он обнаружил аномально большое значение диэлектрической постоянной воды. Интересно заметить, что Аронс в 1892 г. был первым, кто изобрел ртутную дуговую лампу, имевшую большое практическое и научное значение, например, как источник ультрафиолетового света. Нельзя не упомянуть и некоторые его оригинальные работы по поляризации гальванических элементов. Вместе с Гейнрихом Рубенсом он показал, что для многих диэлектрических жидкостей значение диэлектрической постоянной, полученное из экспериментов с волнами Герца, совпадает со значением диэлектрической постоянной, полученной из статических измерений.

В 1885 г. Аронс с помощью остроумного расчета показал, что уже известный экспериментальный материал подтверждает справедливость формулы Гельмгольца, устанавливающей зависимость между давлением пара раствора и теплотой растворения. Из числа отдельных работ, основанных на случайных удачных находках, упомянем лишь весьма изящный демонстрационный опыт с волнами Герца. Аронс вдоль трубки Гейслера натягивал проволоку, в которой возникали стоячие волны. В том месте, где находились пучности волн, электрическое напряжение заставляло газ в трубке светиться. Свечение газа наглядно показывало распределение переменного электрического поля.

Последняя работа исследователя, которого тяжкий недуг на годы оторвал от лаборатории, относится к 1912 г. Аронс поставил перед собой задачу найти способ численного представления цвета различных тел. Это дало бы возможность экспериментально исследовать окраску различных тел. Именно над этой проблемой упорно работал в последние годы своей жизни Оствальд. Практическая важность подобного исследования очевидна. Если бы такой метод был разработан несколько веков тому назад, мы бы знали сегодня, как первоначально выглядели краски на полотнах великих мастеров прошлых поколений. Для решения проблемы Аронс воспользовался интерференционным методом. Интересовавшая его численная величина однозначно определялась с помощью прибора, состоявшего из кварцевой пластинки соответствующей толщины и поляризатора, установленного под определенным углом, на которые падал дневной свет, отраженный от матово-белой поверхности.

Эти строки могут дать лишь смутное представление о неустанных трудах Аронса. Тихая, незаметная работа ученого, к которой он неуклонно стремился, требовала, по его убеждению, времени и честного отношения. Вечная ему память!

РЕЦЕНЗИЯ НА КНИГУ В. ПАУЛИ „ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ“ *

Тот, кто будет читать эту зрелую и тщательно продуманную работу, вряд ли поверит, что ее автору всего лишь двадцать один год. Неизвестно, чему следует удивляться больше: глубокому психологическому пониманию хода развития идей, безупречности математических выводов, глубокому проникновению в физическую сущность явлений, способности ясно и систематично излагать предмет, эрудиции, полноте изложения, уверенности критики.

Книга объемом около 230 страниц состоит из следующих частей.

I. Возникновение специальной теории относительности. Особенно подробно излагаются необходимые для обоснования теории относительности экспериментальные факты.

II. Математические методы специальной и общей теории относительности. Специалисту следует особенно рекомендовать раздел, посвященный аффинным тензорам и инфинитезимальным преобразованиям.

III. Дальнейшее обсуждение специальной теории относительности. Изложение проводится с формальной и с физической точек зрения.

IV. Общая теория относительности (75 страниц). Образцовое изложение развития идей. Полное изложение математических методов, необходимых для решения конкретных проблем. Особенно ценным является изложение закона сохранения энергии. Изложение и критика теории Вейля.

Книгу Паули следовало бы рекомендовать каждому, кто творчески работает в области теории относительности, а также тем, кто хочет самостоятельно разобраться в принципиальных вопросах.

Книга В. Паули вышла в русском переводе в 1947 г. В 1958 г. книга издана в американском дополненном издании. Два дополнения к книге опубликованы на русском языке в сб. «Теоретическая физика XX века» (М., 1958).

* *Besprechung: W. Pauli. Relativitätstheorie.* Sonderabdruck aus der Enzyklopädie der mathematischen Wissenschaften. Leipzig, B. G. Teubner, 1921, IV, 539—775. Naturwiss., 1922, 10. Jahrgang, 184—185.

ЭМИЛЬ ВАРБУРГ КАК ИССЛЕДОВАТЕЛЬ *

В апреле этого года отошел от руководства Имперским физико-техническим институтом Эмиль Варбург, разносторонне одаренный человек неиссякаемой энергии, плодотворно содействовавший развитию физики на протяжении последних 55 лет. Оправдано ли выделение истории отдельной личности из органически единого здания науки, из картины его целостного развития? Не связана ли его деятельность настолько тесно с работой предшественников и современников, что следует считать случайностью то, что решающий шаг сделан тем или другим человеком? Содержание науки можно постигать и анализировать, не вдаваясь в рассмотрение индивидуального развития ее создателей. Но при таком односторонне объективном изложении отдельные шаги иногда могут казаться случайными удачами. Понимание того, как стали возможными и даже необходимыми эти шаги, достигается лишь в том случае, если проследить за умственным развитием отдельных людей, содействовавших выявлению направления этих шагов. Исходя из этого, попытаемся сделать обзор работ одного из наших современников. При этом мы вынуждены ограничиться только тем, что сегодня представляется особенно важным. Лежащие передо мной четыре объемистых тома оригинальных работ Варбурга касаются различных вопросов физики, не поддающихся необходимому для обзора непринужденному объединению с единой точки зрения. Поэтому в конце данной статьи помещен снабженный отчасти краткими указаниями список работ¹, который облегчит специалисту использование обширных результатов работ Варбурга.

Первые работы Варбурга (в том числе диссертация 1868 г. на латинском языке) посвящены теоретическому и экспериментальному изучению меха-

* *Emil Warburg als Forscher*. Naturwiss., 1922, 10. Jahrgang, 823—838.

¹ В нашем издании список опущен. — *Прим. ред.*

ники акустических колебаний (колебание стержней; определение скорости звука в мягких телах путем их соединения с системами, совершающими почти незатухающие колебания; обратимые периодические изменения намагниченности железных стержней вследствие колебательных деформаций; нагревание звуковыми колебаниями; затухание тонов в твердых телах из-за внутренних сопротивлений).

В 1870 г. экспериментами над вытеканием ртути из капиллярной трубки Варбург показал, что между ртутью и стеклом нет заметного скольжения. Эта работа послужила Варбургу и А. Кундту естественной отправной точкой для важного совместного исследования, представленного Гельмгольцем в 1875 г. Берлинской академии наук («О трении и теплопроводности разреженных газов»). В то время как в текущей жидкости нет заметного скольжения слоев, прилегающих непосредственно к стенке, кинетическая теория утверждает существование скольжения газов в случае, когда нельзя практически пренебрегать длиной свободного пробега молекул газа по сравнению с размерами рассматриваемого сосуда. Из теории вытекает, что у стенки имеется определенная скорость течения газа на расстоянии до $0,7 \lambda$ (λ — длина свободного пробега в газе).

Следовательно, у стенки происходит неравномерное изменение скорости течения, тем большее, чем больше длина свободного пробега, т. е. меньше плотность газа.

Объяснение этого явления просто. Находящиеся в тепловом движении молекулы до соударения со стенкой сталкиваются между собой в более глубоком слое; следовательно, они обладают средней поступательной скоростью (течением), направленной параллельно стенке сосуда. После удара о стенку они теряют эту скорость. Значит, находящиеся около неподвижной стенки молекулы имеют в среднем отличную от нуля скорость течения (кажущееся скольжение).

Совершенно аналогичным рассуждением можно показать, что если существует падение температуры по нормали к стенке, то между стенкой и газом имеется скачок температуры. Температура газа у стенки должна быть такой же, какой она была бы на расстоянии $0,7 \lambda$ от стенки в отсутствие скачка.

Существование обоих эффектов было доказано экспериментально Кундтом и Варбургом. Это был важный аргумент в пользу того, что кинетическая теория газов соответствует действительности. Это был первый случай, когда на основе молекулярной теории тепла было предсказано новое явление, причем явление, которое нельзя было объяснить с точки зрения континуального понимания материи. Если бы в конце XIX в. энергетики сумели по достоинству оценить эти аргументы, то они вряд ли решились бы всерьез ставить под сомнение глубокие основания молекулярной теории.

Годом позже оба автора нашли еще одно важнейшее экспериментальное подтверждение кинетической теории газов. Они показали, что молекулярная теплоемкость паров ртути равна $\frac{3}{2}R$ (R — газовая постоянная).

Если одноатомные молекулы газа не обладают энергией вращения, т. е. ведут себя как материальные точки, то общая тепловая энергия газа обусловлена только поступательным движением его молекул, а оно, со своей стороны, при заданном объеме однозначно определяет давление. Этому соответствует уравнение:

$$\text{Тепловая энергия} = \frac{3}{2} pV = \frac{3}{2} RT.$$

Подтверждение было получено путем измерения скорости звука по методу Кундта.

Экспериментальные исследования последующих лет (1872—1879) были посвящены изучению внешнего трения и особенно изучению упругих свойств твердых тел, деформированных выше предела упругости. Аналогия с этими работами привела Варбурга к одному из красивейших результатов его творчества, а именно: к доказательству, что циклическое намагничивание ферромагнитных веществ связано с потерей механической и, соответственно, электромагнитной энергии, которая проявляется в гистерезисной теплоте (1881 г.). Он нашел тогда и количественную связь этой потери энергии с площадью кривой гистерезиса. Варбург рассчитал потенциальную энергию постоянного магнита относительно железного образца

$$\Phi = + \int dV \left(\mathbf{J}_x \frac{\partial \varphi}{\partial x} + \mathbf{J}_y \frac{\partial \varphi}{\partial y} + \mathbf{J}_z \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right) = - \int (\mathbf{J} \mathfrak{h}) dV,$$

где \mathbf{J} — намагниченность, φ — потенциал, создаваемый постоянным магнитом, V — элемент объема железного образца. Отсюда следует, что механическая работа dA , совершаемая при бесконечно малом перемещении постоянного магнита, приводящем к приращению $d\varphi$ потенциала φ при постоянном \mathbf{J} , равна:

$$dA = d\Phi_{\mathbf{J}} = - \int (\mathbf{J} d\mathfrak{h}) dV.$$

Следовательно, при перемагничивании единицы объема железа совершается механическая работа

$$A = - \int \mathbf{J} d\mathfrak{h},$$

где вектор \mathbf{J} теперь необходимо рассматривать как функцию вектора \mathfrak{h} . Сейчас мы привыкли писать

$$A = + \int \mathfrak{h} d\mathbf{J},$$

что для замкнутого цикла намагничивания сводится, разумеется, к тому же.

Так как кинетическая теория дала для газов весьма значительные результаты, стал очень интересным вопрос о том, насколько далеко эти теоретические представления подтверждаются для сильно сжатых газов. Для выяснения этого вопроса Варбург и Бабо (1882 г.) проверили одно из наиболее примечательных, подтвержденных опытом следствий этой теории, а именно: независимость коэффициента трения от плотности. Опыт проводился с углекислотой при высоких плотностях. Оказалось, что с увеличением плотности коэффициент вязкости возрастает, но не более чем на 9%, при повышении плотности в 500 раз по сравнению с нормальной (при атмосферном давлении и обычной температуре). Отсюда вытекает, что основные представления теории газов справедливы и для высоких плотностей. Точного объяснения этого незначительного возрастания мы не имеем. Может быть, оно обусловлено тем, что уменьшение эффективного диаметра молекул в плотных газах, по сравнению с разреженными, объясняется частичной компенсацией молекулярных сил, обязанной разным соседним молекулам.

С 1887 г. работа Варбурга концентрируется на изучении электропроводности газообразных, жидких и твердых тел, на исследовании электродвижущей силы и химических реакций при электрических явлениях в газах. Эти последние исследования позже привели его к тем работам, которые проложили новые пути в фотохимии. При чтении статей по газовому разряду изумляешься обилию тщательных экспериментов, которые тогда еще не направлялись ионной гипотезой. Из множества этих работ я рассмотрю только те, которые мне кажутся особенно важными.

В 1887—1888 гг. Варбург и Тегельмейер нашли, что при нагревании горного хрусталя до 200° он начинает проводить ток как электролит, причем только параллельно, а не перпендикулярно главной оси. Поскольку они вначале применяли электроды из золота, возникла своего рода поляризация большой величины, которая при приложении внешнего напряжения вызывала медленное уменьшение тока. При применении электродов из натриевой амальгамы эта поляризация исчезала. Те исследования, которые важны для изучения твердого агрегатного состояния, были плодотворно продолжены в последние годы Иоффе. В 1890 г. появилась одна работа Варбурга по гальванической поляризации, значение которой до сих пор полностью не оценено. Как известно, Гельмгольц дал теорию капиллярного электрометра Липпмана, основанную на следующих соображениях. На границе раздела ртути — разбавленная серная кислота существует двойной электрический слой, одна обкладка которого находится в металле, а вторая — в электролите. Возникающий при наложении напряжения поляризационный ток меняет плотность в двойном слое так, что поверхность металла в этом явлении играет роль изолятора. Наблюдаемый скачок потенциала на границе электролита с ртутью

состоит из скачка потенциала T_0 (положительного) собственно пограничного слоя и отрицательной разности потенциалов T двойного электрического слоя. Таким образом, по его теории, полная разность потенциалов $T_0 + T$ максимальна, когда T , а следовательно и двойной электрический слой, исчезают. Мы получили бы способ заставить исчезнуть разность потенциалов между ртутью и электролитом и, таким образом, измерить абсолютную разность потенциалов между металлом и электролитом.

Вопреки этому Варбург считал, что большая часть тока поляризации вполне может быть использована для выделения водорода на катоде, а изменение полной разности потенциалов $T_0 + T$ на границе ртути обусловлено изменением поверхности ртути (а значит, и T) под действием выделившегося водорода. Это предположение ведет, конечно, и к другой теории поляризации, отличной от чисто физической теории Гельмгольца. Варбург в нескольких работах обстоятельно обосновал свою точку зрения, и мне кажется, что этим исследованием он проложил новые пути в далеко еще не завершенной области электрохимии пограничных слоев.

С этой проблемой связаны две важные работы Варбурга: о поведении неполяризующихся электродов при переменном токе (1896 г.) и о поляризуемости платины (1901 г.). «Неполяризующимся электродом» является, например, медь относительно раствора CuSO_4 . Сегодня мы характеризуем его тем, что электрическая разность потенциалов между металлом и электролитом в каждый момент времени определяется концентрацией металлических ионов у электрода. Как показал Варбург, в этом случае вся поляризация сводится к ограниченным диффузией изменениям концентрации у катодов вследствие электролиза. Разность фаз между э.д.с. поляризации и током в этом случае намного меньше $\pi/2$ (например, порядка 40°). Иное дело происходит у поляризующихся электродов, например, ртути — разбавленная серная кислота. В этом случае запаздывание фазы напряжения поляризации относительно тока при высоких частотах переменного тока лишь немного меньше $\pi/2$; электроды ведут себя подобно конденсатору большой емкости. Варбург показал, что этот случай можно объяснить, если предположить, что продукты электролиза, например водород, благодаря электролизу периодически отделяются от электрода (платинового) и растворяются, причем в первом приближении разность потенциалов электрод — электролит зависит от массы отделившегося вещества линейно. Без диффузии отделившегося вещества (например, водорода) в растворе и внутри электрода разность фаз между током и напряжением была бы $\pi/2$; но диффузия несколько уменьшает эту разность. Эти процессы Варбург проанализировал во второй из названных работ.

Многочисленные тонкие исследования химического действия таких электрических разрядов должны быть оценены теми, кто лучше меня может судить о мастерстве тонкой экспериментальной работы. Это относится

и к выполненным Варбургом совместно с физиками Имперского физико-технического института исследованиям по планковской формуле излучения. Кто хочет получить представление о богатом открытиями экспериментальном мастерстве Варбурга, о его критической предусмотрительности и неустанной работоспособности, тот должен изучить его сочинения в оригинале. Но о его фотохимических исследованиях последних лет нужно напомнить, ибо без преувеличения можно сказать, что лишь с них начинается количественная фотохимия. Он совершенно убедительно показал на примере газовых реакций — впервые в 1906 г. на бромистом водороде, — что первичный процесс в восприятии кванта энергии $h\nu$ действующего излучения осуществляется молекулой. Этот первичный процесс поглощения сам по себе еще ничего не значит для последующих химических реакций, которым он лишь поставляет энергию. Поглотившая квант молекула имеет теперь особые возможности для реакции. Она либо спонтанно распадается (при достаточно больших энергиях кванта), а затем продукты распада вступают в реакции с другими молекулами, либо сама вступает в реакцию с другими молекулами. Только в случае, когда эти химические реакции однозначно связаны с поглощением квантов, можно теоретически предвидеть число прореагировавших молекул на каждый квант. Примером может служить случай с HBr , где на каждый поглощенный квант энергии образуется одна молекула H_2 и одна Br_2 . Что это важное подтверждение квантовой теории пришло столь поздно, объясняется, с одной стороны, большими экспериментальными трудностями (измерение поглощенной энергии ультрафиолетового излучения, малость реагирующих количеств газа, достижение необходимой чистоты газов), а с другой стороны — трудностью теоретической интерпретации экспериментальных данных.

Эти строки могут дать лишь слабое представление о деле всей жизни столь многогранного ученого. Но, возможно, некоторые коллеги расположены углубиться в те или иные из его оригинальных работ, приведенных в следующем за статьей указателе². Возможно, что некоторые из этих статей будут встречены лучше, чем те немногие, содержание которых кратко изложено выше.

Русский перевод помещен в сб. «Физика и реальность».

² См. примечание на стр. 47.— *Прим. ред.*

ПРЕДИСЛОВИЕ К СОБРАНИЮ ТРУДОВ, ВЫПУСКАЕМОМУ ИЗДАТЕЛЬСТВОМ КАИЦОША*

По случаю моего визита в Японию неутомимый руководитель издательства Каицоша подготовил к печати полное собрание моих научных работ, опубликованных до настоящего времени, тем самым сделал их доступными моим японским коллегам и студентам в удобной для них форме. Считаю своим долгом выразить глубокую признательность за проделанную работу господину Ямамото, а также уважаемому коллеге и моему другу Ишихара, взявшему на себя нелегкий труд по переводу моих работ на японский язык. Его имя служит гарантией правильности и точности перевода.

Наша наука прогрессирует так быстро, что оригинальные работы весьма быстро утрачивают то значение, которое придается им сегодня, и оказываются превзойденными новыми работами. С другой стороны, прослеживание процесса становления теории по оригинальным работам само по себе является привлекательным, и нередко такое изучение источников позволяет глубже постичь существо дела, чем систематическое приглаженное изложение современного состояния теории в ее завершенном виде, которое можно найти в работах многих наших современников. Именно поэтому я надеюсь, что предлагаемое вниманию читателя собрание научных трудов обогатит специальную литературу. Я хотел бы обратить особое внимание моих молодых коллег на работы по специальной и общей теории относительности, теории броуновского движения и квантовой теории, опубликованные с 1905 по 1917 года содержащие идеи, на которые, по моему мнению, до сих пор не обращалось достаточного внимания.

Настоящее издание является первым изданием собрания моих научных работ. То, что оно издается на японском языке, служит для меня еще одним доказательством интенсивности научной жизни и интереса к науке в Япо-

* *Vorwort*. Japanese collected scientific papers of Albert Einstein. 1922.

нии, которую я за эти несколько недель не только высоко оценил как научную державу, но и, что гораздо важнее, научился просто по-человечески любить.

27 декабря 1922 г.

Первое собрание трудов Эйнштейна было опубликовано в 1922—1924 гг. в Японии в четырех томах издательством Каицоша. Это собрание не отмечено в библиографиях трудов Эйнштейна, нет его и в русских собраниях. Сведения о нем можно найти в статье: K l i c k s t e i n. Bibliographies of Einstein (Journal of the Albert Einstein Medical Centre, v. 10. July 1962, p. 142). Эйнштейн посетил Японию в ноябре 1922 г. после выхода в свет первого тома и написал предисловие ко второму. Оно было напечатано на немецком языке и в японском переводе.

Японское собрание содержало статьи, относящиеся к 1901—1922 гг. План собрания был близок к русскому. Том I содержит статьи по специальной теории относительности, том II — по общей теории относительности, том III посвящен молекулам, электронам и квантовой механике; том IV содержит несколько пропущенных статей, популярные лекции и очерки (11 статей). Третий том пострадал от катастрофического землетрясения (1 сентября 1923 г.); в нем по плану должно было быть 45 статей, но 14 статей по квантовой механике пришлось изъять по техническим причинам. Статьи были переведены Ямадо Мицуо, Эндо Мицуюэе, Аве Иошио и Ишихара Юн. Ямамото Мицури был одним из руководителей издательства.

Собрание содержало статью Ишихара Юн и комментарии.

В японское издание были включены следующие статьи (том и порядковый номер статьи даются по нашему Собранию):

Т. 1, статьи 1—3, 5—12, 14—19, 21—26, 28, 29, 32, 34, 36, 37, 39, 41, 42, 44, 45, 47—51, 53—55, 57, 59;

Т. 2, статьи 60, 61, 64, 66, 67;

Т. 3, статьи 1—6, 8, 9, 13—16, 22, 24, 25, 28, 39, 42, 47, 51.

О СОВРЕМЕННОМ КРИЗИСЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ *

Цель теоретической физики состоит в том, чтобы создать систему понятий, основанную на возможно меньшем числе логически независимых гипотез, которая позволила бы установить причинную взаимосвязь всего комплекса физических процессов. На вопрос о том, как возникает и развивается эта научная система, во времена Максвелла можно было бы получить следующий ответ.

Незыблемый базис точных наук, а именно: геометрии и анализа, образуют невызывающие сомнений данные чувственного восприятия или мышления. Этот базис был установлен еще древними греками, и тем, кто жил во времена более поздние, не пришлось создавать ничего принципиально нового, если не считать исчисления бесконечно малых. Затем Галилей, Ньютон и их современники установили подлинные физические законы, открыв основные законы механики. Вплоть до конца XIX века физики были убеждены в том, что эти основные законы механики вообще должны составлять базис всей теоретической физики, т. е. что каждая физическая теория в конечном счете должна сводиться к механике.

Таким образом, сложилось представление о том, что основы физики окончательно установлены, а работа физика-теоретика должна состоять в том, чтобы с помощью специализации и дифференциации теории приводить ее в соответствие со все возрастающим изобилием исследованных явлений.

О том, что может возникнуть потребность в коренной перестройке фундамента всей физики, никто не думал. После исследований Фарадея и Максвелла постепенно стало ясно, что основы механики находятся в противоречии с электромагнитными явлениями. Такое изменение в воззрениях физиков прошло в своем развитии несколько этапов. Сначала оба названных выше создателя новой теории осознали, что электромагнитные явления нельзя описать с помощью теории сил, мгновенно оказывающих свое действие на расстоянии.

* *Über die gegenwärtige Krise in der theoretischen Physik.* Kaizo, 1922, 4, No 22,1=8.

Согласно Ньютону, все силы, способные вызывать ускорение материальных точек, можно свести к мгновенно распространяющемуся действию каких-то других материальных точек, одна из которых и оказывает воздействие на рассматриваемую материальную точку. Максвелл и Фарадей противопоставили этой теории непосредственного дальнего действия теорию электромагнитного поля. Согласно этой теории, распространение электромагнитных сил связано не с мгновенным дальним действием, а с некоторым состоянием пространства (эфира, электромагнитного поля), способного передавать действие этой силы. Наряду с движущимися материальными точками, которые в соответствии с теорией Ньютона были единственными носителями энергии, поле, наделенное энергией и описываемое непрерывными функциями пространственных координат, в новой теории выступает как физическая реальность. Известно, что всеобщему признанию этой теории немало способствовали эксперименты Герца по распространению электрических сил.

Вначале физики еще не отдавали себе полного отчета в революционизирующем характере теории поля. Сам Максвелл еще был убежден в том, что электродинамические процессы можно рассматривать как движения эфира, и даже использовал механику при выводе уравнений поля. Однако со временем стали все более отчетливо понимать, что сведение уравнений электромагнитного поля к уравнениям механики невозможно. В этих условиях стремление к созданию единого фундамента всей физики заставило изменить подход к проблеме на прямо противоположный и сводить уравнения механики к электромагнитным уравнениям. Это стремление стало еще сильнее после того, как Дж. Дж. Томсон открыл, что существует электромагнитная инерция электрически заряженных тел, а Абрагам показал, что инерция электронов допускает чисто электромагнитное толкование. Сведение инерции к электромагнитным процессам означало полный переворот в основах физики, по крайней мере в принципиальном отношении. Место материальной точки как элемента реальности заняло электромагнитное поле. Оно стало фундаментальным понятием во всех построениях теоретической физики. Общеизвестно, что теоретическое построение материи на чисто электромагнитной основе удастся провести лишь до известной степени. В частности, нам известно в настоящее время, что силы сцепления имеют чисто электромагнитную природу.

Сказанное отнюдь не исчерпывает всех результатов теории поля Фарадея — Максвелла. Открытие ковариантности электромагнитных уравнений Максвелла относительно преобразований Лоренца привело к специальной теории относительности и тем самым к открытию эквивалентности инерции и энергии, к распространению теории относительности на гравитационное поле и (с учетом равенства инертной и тяжелой масс) тем самым к общей теории относительности. С возникновением общей теории относи-

тельности пал оплот ньютоновской теории, о котором прежде думали, что он должен служить фундаментом любой науки о природе, а именно: эвклидова геометрия. В древности эта наука возникла в результате примитивных экспериментов над твердыми телами. Веские соображения, косвенно связанные с экспериментом, вынудили физиков, молчаливо предполагавших, что эвклидова геометрия описывает законы взаимного расположения твердых тел, движущихся с не слишком большими скоростями и не подверженных внешним воздействиям, заменить эвклидову геометрию более общей теорией, созданной еще Гауссом и Риманом. Казалось, что с возникновением общей теории относительности завершилась фаза развития теоретической физики, основу которой заложили Фарадей и Максвелл.

В последние два десятилетия выяснилось, что и тот фундамент физики, который был построен с привлечением теории поля Фарадея — Максвелла, так же, как и основанная на нем механика, не может противостоять натиску новых экспериментальных данных. Более того, следует ожидать, что прогресс науки вызовет такой переворот в ее основах, который окажется не менее глубоким, чем переворот, связанный с теорией поля. Однако до логически ясного фундамента нам еще очень далеко, и пока приходится довольствоваться выяснением того, в какой мере ныне существующие основы недостаточны и насколько обоснованной можно считать успешную, но все же носящую лишь предварительный характер, попытку построения теории важного класса физических явлений, известную под названием «квантовой теории».

Квантовая теория берет свое начало из теории теплового излучения, где объединение механики с теорией электромагнитного поля приводит к противоречию с опытом и даже к внутренне противоречивым результатам. Основную проблему теплового излучения можно было бы сформулировать следующим образом. Термодинамика учит, что в полости, расположенной внутри непрозрачного тела, имеющего температуру T , имеется излучение, состав которого совершенно не зависит от природы тела, образующего стенки полости. Если ρ — плотность монохроматического излучения (т. е. ρdv — энергия излучения в полости, приходящаяся на единицу объема в интервале частот между ν и $d\nu$), то ρ является вполне определенной функцией ν и T . Эту функцию нельзя найти с помощью чисто термодинамических соображений. Более того, явный вид этой функции можно получить лишь в том случае, если известна природа процессов испускания и поглощения излучения.

Классическая механика вместе с электродинамикой Максвелла приводит к следующему выражению для ρ :

$$\rho = \alpha \nu^3 T, \quad (1)$$

которое непригодно хотя бы потому, что приводит к бесконечно большому

значению полной плотности излучения в полости

$$\int_{v=0}^{v=\infty} \rho dv.$$

Планк нашел выражение, находящееся в удовлетворительном согласии со всеми известными до сих пор экспериментами:

$$\rho = \frac{8\pi h v^3}{c^3} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}, \quad (2)$$

где h — постоянная, зависящая от абсолютных размеров атома, а k означает мировую постоянную, ранее не известную в физике, которую можно было бы охарактеризовать как фундаментальную постоянную квантовой теории. В 1900 г. Планк предложил теоретический вывод этой формулы, содержащий в неявном виде гипотезу, несовместимую со взглядами, господствовавшими в физике того времени. Впоследствии эта гипотеза была экспериментально и теоретически подтверждена исследованиями, проводившимися в течение двух последних десятилетий. Где бы ни происходил в природе синусоидальный колебательный процесс с частотой ν , его энергия всегда принимает значения, равные целым кратным $h\nu$. Промежуточные значения энергии синусоидального колебательного процесса в природе не встречаются.

На основании этой гипотезы удастся не только вывести формулу (2) излучения Планка, но и получить закон изменения удельной теплоемкости кристаллических твердых тел с температурой. Однако вывод всех этих формул внутренне противоречив, ибо использует наряду с новой гипотезой несовместимые с ней основания классической физики.

Если учесть крупные успехи электродинамики Максвелла и механики Ньютона и то, что на сегодняшний день мы не можем обойтись без этих теорий, то станет ясно, почему основную гипотезу квантовой теории следует по возможности ставить под сомнение. Имеются, однако, такие явления, которые, с одной стороны, непосредственно подтверждают квантовую теорию, а с другой, — недвусмысленно показывают ее несовместимость с основаниями классической физики.

Согласно максвелловской теории, плотность энергии излучения, испускаемого некоторым источником, меняется обратно пропорционально квадрату расстояния. Следовательно, энергия, поглощаемая в единицу времени данной площадкой, с увеличением расстояния неограниченно убывает. Так как для химического разложения молекулы или для выбивания электрона из атома требуется определенная энергия, то излучение, значительно ослабленное за счет достаточного удаления от источника света, не сможет вызывать такой химический процесс. Однако вопреки

сказанному эксперимент показывает, что химическое и фотоэлектрическое действие излучения совсем не зависит от его плотности. Химическое действие излучения, проходящего через вещество, зависит только от полной энергии излучения, а не от плотности его пространственного распределения. Кроме того, из экспериментов Э. Варбурга стало известно, что энергия, поглощаемая при элементарном химическом процессе, всегда равна $h\nu$, независимо от того, как распределена в пространстве энергия излучения. Этот результат следует также и из экспериментов с фотоэлектрическим эффектом и испусканием катодных лучей под действием рентгеновского излучения.

В настоящее время мы знаем, что эта энергия берется непосредственно из излучения, а не накапливается постепенно. Поглощение света происходит отдельными элементарными актами, а при каждом из них полностью поглощается энергия $h\nu$. Подробности этих элементарных процессов нам неизвестны. Если бы об излучении нам были известны лишь его энергетические свойства, то пришлось бы, по-видимому, создать своего рода молекулярную теорию излучения в духе ньютоновской теории испускания света. Однако объяснение явлений дифракции и интерференции на основе такой теории наталкивается на непреодолимые трудности. Кроме того, по-видимому, можно считать, что полевая теория излучения неверна отнюдь не в большей степени, чем теория упругих волн в твердых телах, обуславливающих теплоемкость последних. Обе теории в равной мере находятся в противоречии с квантовой теорией и обе приходится комбинировать с последней, чтобы получить результаты, согласующиеся с экспериментом.

Быстрый рост наших знаний о строении атома, которым мы особенно обязаны великим ученым Резерфорду и Бору, привел к весьма значительному обобщению квантовой теории, на котором мы сейчас и остановимся. Еще до теории Резерфорда — Бора было высказано предположение о том, что поглощение (испускание) излучения, соответствующего некоторой спектральной линии, атомом или молекулой должно отвечать их переходу из одного состояния в другое. Поскольку состояние атома нельзя было, разумеется, описывать синусоидальными колебаниями, возникла проблема обобщения квантовой теории на случай произвольной механической системы. Эту задачу удалось постепенно решить Бору, Зоммерфельду, Эпштейну и Шварцшильду. Результаты, полученные этими исследователями, были полностью подтверждены спектроскопическими данными и не вызывают никаких сомнений.

Если некоторую механическую систему можно описывать, задавая ее координаты q_v , периодически зависящие от времени, то для каждой степени свободы v импульс p_v , соответствующий координате q_v ($p_v = \frac{\partial L(p, q)}{\partial \dot{q}_v}$),

можно представить в виде функции, зависящей только от координаты q_ν . Таким образом, интеграл

$$\int p_\nu dq_\nu,$$

взятый по одному периоду, при каждом ν будет целым кратным постоянной Планка h . Тем самым состояния, «допускаемые» квантовой теорией, оказываются определенными для так называемых «квазипериодических» систем. Общее правило нашло свое подтверждение в тонких и разнообразных частных случаях (например, в теории эффекта Штарка, предложенной Эйнштейном); поэтому то, что оно в целом правильно, по-видимому, не вызывает сомнений.

С общетеоретической точки зрения особенно удивительно следующее. С одной стороны, как уже отмечалось, нельзя считать, что механика удовлетворительна, так как основанная на ней статистическая механика приводит к результатам, противоречащим опыту (например, удельная теплоемкость твердых тел). С другой стороны, в области применимости упоминавшегося выше правила законы механики поразительным образом подтверждаются. Может быть, в природе происходят только квазипериодические элементарные процессы или, если говорить в более общих терминах, встречаются только такие механические системы, которые имеют столько однозначных интегралов, сколько у них есть степеней свободы? Если принять во внимание кинетическую теорию газов, то подобная идея покажется абсурдной. Вопрос о том, в какой мере требования квантовой теории ограничивают сферу действия классической механики (и электродинамики), сегодня так же, как и 15 лет назад, покрыт мраком.

Неоднократно высказывалось мнение, что законы природы вряд ли можно записывать с помощью дифференциальных уравнений. В самом деле, в соответствии с только что сформулированным квантовым правилом мы должны рассматривать весь цикл движения системы, чтобы иметь возможность ответить на вопрос, допустимо ли с точки зрения квантовой теории данное состояние системы или нет. Чтобы действительно обосновать квантовые соотношения, по-видимому, необходим новый математический язык. Во всяком случае запись законов природы в виде комбинации дифференциальных уравнений и интегральных условий, как мы делаем сегодня, противоречит здравому смыслу. Основы теоретической физики вновь потрясены, и опыт требует, чтобы мы нашли способ для выражения закономерностей на новом, более высоком уровне. Когда же суждено появиться новой идее? Счастлив тот, кто доживет до того времени и сможет это увидеть.

Статья в японской газете «Кайзо» была опубликована в связи с пребыванием Эйнштейна в Японии (ноябрь 1922 — февраль 1923 г.).

ПРЕДИСЛОВИЕ К НЕМЕЦКОМУ ИЗДАНИЮ КНИГИ ЛУКРЕЦИЯ „О ПРИРОДЕ ВЕЩЕЙ“ * 1

Книга Лукреция окажет чарующее действие на каждого, кто еще не покорен окончательно духом нашего времени, кто чувствует себя способным со стороны взглянуть на современность и оценить духовные достижения современников. Мы узнаем, как представлял себе мир мыслящий человек, интересовавшийся естествознанием, — человек, одаренный живым чувством и способностью мыслить, но не имевший никакого понятия о тех достижениях современного естествознания, которые нам сообщаются в детском возрасте, еще тогда, когда мы не в состоянии ни осознать их, ни критически противостоять им.

Глубокое впечатление должна оставить твердая уверенность Лукреция, верного ученика Демокрита и Эпикура, в познаваемости и, соответственно, причинной зависимости всего сущего. Приписывая атомам лишь геометрико-механические свойства, он не только совершенно убежден в возможности объяснения всего происходящего в мире на основе движения неизменяемых атомов, подчиняющегося определенным законам, но даже думает, что может обосновать это утверждение. Как явления жизни, так и воспринимаемые чувствами тепло, холод, цвет, запах, вкус сводятся к движениям атомов. Душу и ум он представляет себе состоящими из особо легких атомов; будучи последовательным, он сопоставлял определенные переживания с различными свойствами материи.

Освобождение человека от насаждаемого религией и суевериями рабского страха, поддерживаемого и используемого священниками, — вот главная цель работы Лукреция. Это — нешуточное дело. Но скорее всего им руководила потребность убедить своих читателей в необходимости приня-

* *Geleitwort*. T. Lucretius Carus. De rerum natura. Berlin, Ed. H. Diels, Bd. II.

¹ Издание вышло в двух томах. В первом томе воспроизведен латинский текст, во втором дан немецкий перевод, к которому и написано предисловие Эйнштейна. — *Прим. ред.*

тия механической атомистической картины мира, хотя он и не рискнул высказать это открыто склонным к практицизму римлянам. Трогательно его уважение к Эпикуру и вообще к греческой культуре и греческому языку; он их ставил значительно выше латинских. То, что такие вещи можно было тогда высказать, следует поставить римлянам в заслугу. Где бы современная нация, которая питала бы столь благородные чувства к другой современной ей нации и высказывала бы их?

Стихи Дильса (переводчик.— *Ред.*) читаются легко. Невольно забываешь, что перед тобой перевод.

Берлин, июнь 1924 г.

Русский перевод включен в сб. «Физика и реальность».

**К СТОЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ
ЛОРДА КЕЛЬВИНА***
(26 июня 1824 г.)

Все физики знают и любят В. Томсона (лорда Кельвина) как одного из наиболее сильных и плодотворных мыслителей XIX столетия, как основателя теоретической школы, из которой вышел гениальнейший теоретик нового времени К. Максвелл. Одаренный богатой фантазией, редким умением применять математический аппарат и пронипательным умом, Томсон около 60 лет участвовал в развитии физики и различных отраслей техники, добыв множество результатов, сохранивших свое значение до сегодняшнего дня; немногие ученые были столь плодотворны.

Наиболее существенный вклад Томсона в развитие физики — это основания термодинамики. Эта работа была выполнена одновременно с Клаузиусом; они плодотворно влияли друг на друга. В возрасте 23 лет Томсон вводит одно из фундаментальнейших понятий физики — абсолютную температуру, без которой сегодня мы не можем себе представить эту науку.

Обилие результатов, которыми мы обязаны Томсону в области учения о теплоте, гидродинамики, учения об электричестве, навигации, физической географии и измерительной техники, совершенно необозримо. Изящество метода всегда доставляет читателю огромное наслаждение. Воспоминания об организационных и играющих не последнюю роль материальных результатах позволяют признать его долгую и богатую жизнь блестящей. И все-таки в деятельности этого высокого ума есть нечто трагическое.

Фундаментом для всего творчества Томсона была механика Ньютона. Этот стремящийся к единству познания ум глубоко верил, что сущность всех физических явлений сводится к движению и что механика Ньютона дает, в конце концов, ключ к пониманию всего происходящего. Верный этому убеждению, призвав все свои творческие силы, он на протяжении

* *Zum hundertjährigen Gedenktag von Lord Kelvins Geburt. Naturwiss., 1924, 12, 601—602.*

многих десятилетий пытался создать механическую теорию атомистики и электромагнитных явлений. Но открытые в конце его жизни рентгеновы лучи и радиоактивные явления показали, что все его усилия в этом направлении напрасны, а основное его убеждение ошибочно. Начался период неопределенности и изменчивости основ физики; этому периоду еще и сегодня не видно конца. Если бы Томсону, которому эти основы физического познания почти до конца жизни казались неизблемыми, удалось бы вдруг ознакомиться с нашей современной литературой, он бы ужаснулся.

Вместо того, чтобы пытаться охватить все работы Томсона, я лучше покажу четкость его исследовательской мысли на нескольких примерах, которые меня в свое время особенно восхитили.

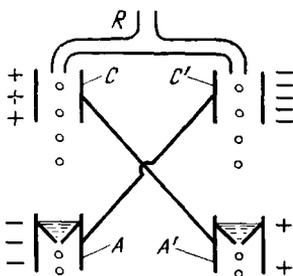


Рис. 1. Установка для получения электростатических зарядов с помощью капель воды

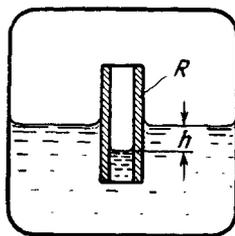


Рис. 2. Влияние кривизны поверхности жидкости в капиллярах на давление паров

Установка для получения электростатических зарядов с помощью капель воды. Из заземленной наполненной водой трубки R (рис. 1) вытекают две струи, которые внутри пустотелых изолированных металлических цилиндров C и C' разбиваются на капли. Эти капли падают в изолированные подставки A и A' со вставленными воронками. Цилиндр C соединен проводником с A' , а C' с A . Если C заряжен положительно, то образующиеся внутри C капли заряжаются отрицательно и отдают свой заряд A , заряжая тем самым C' отрицательно. Из-за отрицательного заряда C' образующиеся внутри него водяные капли получают положительный заряд и разряжаются в A' , увеличивая его положительный заряд. Заряд C , A' и C' , A возрастает до тех пор, пока изоляция препятствует проскакиванию искры.

Влияние кривизны поверхности жидкости в капиллярах на давление пара. Капиллярная трубка с внутренним радиусом R (рис. 2) погружена, например, в несмачивающую жидкость. При равновесии в трубке

устанавливается капиллярное понижение уровня

$$h = \frac{2\sigma}{R\rho g},$$

где σ — капиллярная постоянная, ρ — плотность жидкости, g — ускорение силы тяжести.

Если обозначить плотность пара через ρ_0 (последняя мала по сравнению с ρ), то в пространстве над свободной поверхностью жидкости будет существовать избыточное давление

$$\Delta p = \rho_0 g h = \frac{2\sigma}{R} \frac{\rho_0}{\rho}.$$

Этот результат справедлив независимо от того, какими причинами обусловлено возникновение кривизны поверхности.

Доказательство теоремы Гельмгольца о вихрях. Пусть L — замкнутая кривая. Движению жидкости, в которой отсутствует трение, отвечает скорость, имеющая компоненты u_ν . Тогда, по теореме Стокса, линейный интеграл

$$W = \int_L \sum u_\nu da_\nu$$

(u_1, u_2, u_3 — компоненты скорости, x_1, x_2, x_3 — координаты) равен поверхностному интегралу от вектора вихря по произвольной поверхности, натянутой на L . Зададимся вопросом о временной зависимости величины вихря W при условии, что кривая участвует в течении жидкости. Обозначив относящуюся к отдельной частице жидкости производную по времени через $\frac{D}{Dt}$, а соответствующий дифференциал — через D , имеем для произвольной величины ψ

$$\frac{D\psi}{Dt} = \frac{\partial\psi}{\partial t} + \sum u_\nu \frac{\partial\psi}{\partial x_\nu}.$$

Если предположить, что плотность жидкости ρ является функцией только давления, а внешние силы однозначно определяются потенциалом ϕ , т. е. положить, что $\pi = \int \frac{dp}{\rho}$, то эйлеровы уравнения движения жидкости дадут

$$\frac{Du_\nu}{Dt} = - \frac{\partial\pi}{\partial x_\nu} - \frac{\partial\phi}{\partial x_\nu}.$$

Тогда

$$Du_\nu = -dt \frac{\partial (\pi + \varphi)}{\partial x_\nu} \text{ и } Ddx_\nu = dt \sum \frac{\partial u_\nu}{\partial x_\alpha} dx_\alpha.$$

Отсюда следует, что

$$DW = \int \sum (Du_\nu dx_\nu + u_\nu Ddx_\nu) = dt \int \sum dx_\nu \frac{\partial}{\partial x_\nu} \left(-\pi - \varphi + \sum \frac{u_\alpha^2}{2} \right) = 0.$$

В этом результате $DW = 0$ содержатся теоремы Гельмгольца о вихрях.

По случаю столетия со дня рождения В. Томсона мы с благодарностью вспоминаем этого мастера; будем надеяться, что когда-нибудь удастся охватить достижения физики нашего времени столь же просто и наглядно, как мы это видим у него.

Русский перевод помещен в сб. «Физика и реальность».

РЕЦЕНЗИЯ НА КНИГУ И. ВИНТЕРНИТЦА „ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ И ТЕОРИЯ ПОЗНАНИЯ“*

У философов недостаток творческих способностей часто проявляется в том, что они не излагают свой предмет систематически, исходя из собственной точки зрения, а, наоборот, заимствуют готовые утверждения у других авторов и лишь пытаются их критиковать или комментировать. Однако автор, уверенный в своих силах, сам воюет со своим предметом, систематически излагает его, а результаты собственного анализа сравнивает с положениями, выдвигаемыми другими авторами, лишь после того, как он самостоятельно выработал и провел в жизнь свою точку зрения.

Автор рецензируемой книги в этом смысле принадлежит к числу самостоятельных авторов, способных развить собственную точку зрения, и обладает при этом глубоким знанием предмета как с физической, так и с философской стороны. Будучи по своей философской позиции близок к Шлику и Рейхенбаху, он, насколько мне известно, был единственным, кто сумел полностью воздать должное Канту, не утратив под влиянием последнего самостоятельности. Я позволю себе выделить из общего контекста следующие утверждения, дающие представление о позиции автора по отношению к Канту, с одной стороны, и по отношению к эмпирикам — с другой.

«Необходимо еще раз подчеркнуть назло всем эмпирикам, для которых Кант никогда не существовал, что природа не является чем-то таким, что дает «опыт», а представляет собой некоторую систему, создаваемую мышлением на основе его собственных принципов из отдельных опытных фактов, самих по себе незначительных и бессвязных». «Характерные свойства протяженности, пространственного упорядочения и движения, которые мы различаем точно так же, как различаем оттенки цвета, ничем, разумеется, не лучше последних. Однако, поскольку системе законов, которой с необходимостью удовлетворяют данные непо-

* *Besprechung: J. Winternitz. Relativitätstheorie und Erkenntnislehre.* Leipzig, B. G. Teubner, 1923. Dtsch. Literaturzeitung, 1924, 1 (45), 20—22.

средственного опыта (в смысле Маха), мы строим из фундаментальных математических понятий, далеких от этого мира непосредственного восприятия, в частности, из понятия переменных, описывающих пространственно-временное упорядочение, мы в результате приходим к науке о природе, которая занимается не только регистрацией, описанием и классификацией фактов». «Априори означает..., что необходимость подобных принципов следует возвести в основной принцип теории познания...» Далее следует утверждение о том, что можно указать по крайней мере один такой принцип, а именно: принцип «причинности».

Итак, Винтернитц вместе с Кантом утверждает, что наука является некоторой системой, созданной мышлением на основе априорных принципов. То, что здание нашей науки покоится и должно покоиться на принципах, которые сами не вытекают из опыта, конечно, нужно принять без всяких сомнений. Однако у меня возникают сомнения, когда встает вопрос о значении этих принципов или об их незаменимости. Можно ли считать, что по крайней мере часть этих принципов устроена так, что наука несовместима с любым их изменением или же они являются чистой условностью, вроде принципа расположения слов в словаре? Винтернитц склонен считать, что верна первая точка зрения, я же считаю верной вторую. Критические замечания Винтернитца по поводу идей Канта о пространстве и времени мне кажутся очень меткими.

Благодаря четкости изложения, достойной всяческих похвал, автору удалось всесторонне рассмотреть предмет на 230 страницах, о чем свидетельствует следующее оглавление: I. Вводные замечания о задачах, методах и границах естественных наук. II. Смысл относительности пространства и времени. III. Абсолютное пространство в физике. IV. Основные идеи специальной теории относительности Эйнштейна. V. Четырехмерное пространство. VI. Упорядочение во времени и причинная связь. VII. Геометрия и опыт. VIII. Геометрия как физическая гипотеза. IX. Общая теория относительности и гравитация. X. Время, пространство и причинность в общей теории относительности. XI. Теория относительности и борьба различных школ.

РЕЦЕНЗИЯ НА КНИГУ МАКСА ПЛАНКА „ТЕПЛОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ“ *

Книга Планка представляет собой ясное и последовательное введение в проблемы теории излучения и теории квантов, чтение которой доставляет даже «посвященному» большое эстетическое удовольствие.

В первой части книги рассматриваются основные понятия и теоремы, по существу опирающиеся на термодинамику: закон Кирхгофа об испускательной и поглощательной способности тела, закон Стефана — Больцмана о зависимости полной интенсивности излучения от температуры и закон смещения Вина. Вторая часть книги основана на принципе Больцмана и квантовой теории. В ней ясно показаны не только различия, но и глубокие аналогии между соотношениями, полученными в обеих теориях (классической и квантовой). Сначала излагается принцип Больцмана, в основе которого лежит понятие числа комплексий. Таким образом, учет бесконечно малых и конечных деформаций элементарных областей позволяет с самого начала рассматривать и классическую и квантовую теории. Механика используется только в той мере, в которой она с помощью теоремы Лиувилля объясняет равенство объемов элементарных областей в фазовом пространстве. Таким образом, теорема Больцмана о среднем числе частиц, приходящихся на единицу объема, которая является основой всей статистической теории теплоты, основывается только на принципе Больцмана, связывающем энтропию и вероятность. Тем самым подчеркивается роль этого принципа, выходящая за рамки одной лишь механики.

Наиболее важная часть книги (стр. 143—192) посвящена выводу планковской формулы излучения. Ход рассуждений здесь следующий. Статистика материальных частиц определяется формулой распределения Больцмана. Черное излучение характеризуется тем, что оно находится в статистическом равновесии с этими частицами. На стр. 143—169 пока-

* *Besprechung*: M. Planck. *Wärmestrahlung*. Dtsch. [Literaturzeitung, 1924, 1 (45), 1153—1154.

зано, что, если распределение Больцмана применять к бесконечно малым элементарным областям и считать, что взаимодействие между материальными частицами и излучением подчиняется законам механики и электродинамики, то в результате мы придем к предельному случаю, описываемому формулой Джинса. Напротив, если применять формулу Больцмана к конечным элементарным областям и постулировать, что статистические законы при рассмотрении взаимодействия между материальными частицами и излучением подчиняются определенным статистическим законам, то мы придем к планковскому закону излучения. Вводимые при этом постулаты ввиду их простоты, с одной стороны, и аналогии с соответствующими соотношениями в классической теории — с другой, по-видимому, можно считать в достаточной мере обоснованными.

В последнем разделе книги, в связи с ранее полученными соотношениями, рассматриваются некоторые важные проблемы квантовой теории: полость с излучением как самостоятельная квантовая система, энтропийная константа газов, удельная теплоемкость твердого тела.

На русский язык переведено 5-е издание книги М. Планка «Теория теплового излучения» (Л.—М., 1935).

В. Г. ЮЛИУС*
(1860—1925)

В лице В. Г. Юлиуса мы потеряли одного из наиболее оригинальных исследователей в области физики Солнца. Памяти своего старого друга я и посвящаю эти несколько строк. Они написаны в надежде, что его идеи о необходимости учета рефракции при объяснении различных явлений, происходящих на Солнце, со временем не будут забыты.

Юлиус начал изучать математику и физику в Утрехтском университете в 1879 г. Основные его интересы лежали в области экспериментальной физики. До тридцати одного года он занимался в основном изучением испускания и поглощения света в газах. Работа А. Шмидта «Преломление света на Солнце; геометрические замечания к физике Солнца», появившаяся в 1891 г., привлекла внимание Юлиуса к физике Солнца, которой он и занимался затем всю свою жизнь.

Юлиус не разделял взглядов А. Шмидта, согласно которым резкость края Солнца обусловлена рефракцией за счет радиального градиента плотности, поскольку ясно сознавал, что рассеяние и поглощение во внешних слоях Солнца неизбежно искажают ход лучей. По теории же Шмидта лучи должны были распространяться прямолинейно. Юлиус пришел к убеждению, что такие явления на Солнце, как распределение видимой яркости Солнца и скорость, с которой изменяется это распределение, трудно поддающиеся объяснению, если приписывать их только испусканию и поглощению света и движению Солнца, объясняются отклонениями от прямолинейного распространения света.

Чтобы по достоинству оценить взгляды В. Г. Юлиуса, мы должны поставить вопрос о том, каковы скорости, достигаемые материей во внешних слоях Солнца. Наблюдения не дают прямого ответа на этот вопрос. Априори можно усомниться в том, что движение материи является единственной причиной любого смещения центра интенсивности спектральной линии и любого перемещения ярких мест на солнечном диске. По Юлиусу, един-

* W. H. Julius (1860—1925). *Astrophys. Journal*, 1926, 63, No 3, 196—198.

ственными явлениями, позволяющими непосредственно измерить скорости материи на поверхности Солнца, являются солнечные пятна. С помощью Зееман-эффекта Хейл обнаружил, что солнечные пятна представляют собой вихри. Поскольку известные теоремы гидродинамики показывают, что вещество, из которого состоит вихрь, движется вместе с ним, относительную скорость пятен можно принять за скорость материи. Полученные при этом скорости составляют в среднем $0,15 \text{ км/сек}$ и никогда не превосходят $0,4 \text{ км/сек}$. Отсюда Юлиус заключил, и я совершенно с ним согласен, что при объяснении явлений, происходящих на Солнце, мы не можем ссылаться на существенно большие скорости.

Например, если ядра гранул движутся со скоростями от 3 до 4 км/сек, то, следовательно, гранулы нельзя считать веществом, движущимся с такими скоростями. Юлиус считал, что гранулы являются продуктом совместного действия локальных вариаций плотности солнечной атмосферы и различного изгибания лучей при прохождении фотосферы. Скорости гранул — это скорости волн сжатия, которые и в самом деле имеют указанный порядок.

Распределение интенсивности в солнечных пятнах Юлиус пытался точно так же объяснить (по крайней мере частично) рефракцией за счет фотосферы. В подтверждение своих взглядов он среди прочего приводил наблюдение Маундера, согласно которому на восточной половине солнечного диска имеется гораздо больше пятен, чем на западной. Юлиус объяснял это парадоксальное открытие искажениями вихря, вызванными неравномерностью (по широте и глубине) вращения Солнца. Центр вихря обгоняет остальную его часть и, таким образом, наклоняет его ось под различными углами к лучу зрения. Рефракция особенно заметна, когда эти углы малы.

Протуберанцы и хромосферу Юлиус также пытался объяснить вариациями плотностей (градиентами), встречающимися во внешней части солнечной атмосферы. Поперечное движение, замеченное в протуберанцах, со скоростями порядка нескольких сотен километров в секунду он объяснял небольшими перемещениями градиентов плотности. Он считал, что свет испускается хромосферой и претерпевает сильную рефракцию вблизи линии поглощения.

Особенно важными я считаю взгляды Юлиуса на происхождение линий Фраунгофера. Наблюдаемые экспериментально линии оказываются гораздо более широкими, чем линии поглощения с учетом поправки на эффект Доплера. Уширение линий объясняется молекулярным рассеянием и (главным образом) аномальной рефракцией в неодинаковых по своим свойствам слоях газа. Из-за большого преломления вблизи линии поглощения вещества аномальная рефракция должна так же ограничивать испускательную способность, как и молекулярное рассеяние. Но в отличие

от последнего аномальная рефракция обуславливает асимметричное уширение линий. Таким образом, Юлиус сумел объяснить сдвиги линий. Попытка приписать их появление эффекту Допплера привела бы к невероятно большим скоростям, причем для разных линий скорость была бы различной. Аналогичным образом Юлиус сумел объяснить, почему красное смещение, наблюдаемое в центре солнечного диска, отличается от красного смещения вблизи его края. Юлиус считал, что точно так же следует объяснять любые наблюдаемые красные смещения линий, и поэтому придерживался мнения, что сдвига, требуемого теорией относительности, не существует.

Я недостаточно компетентен, чтобы по достоинству оценить все богатство идей Юлиуса, но уверен, что они заслуживают самого тщательного рассмотрения. В особенности их следует принимать во внимание при построении теории смещения спектральных линий. Эти немногочисленные замечания достигли своей цели, если они помогли обратить еще раз внимание физиков на работы этого человека, обладавшего ясным взглядом на вещи и артистически тонкой душой.

Лейден, 14 декабря 1925 г.

ПРИЧИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ ИЗВИЛИН В РУСЛАХ РЕК И ТАК НАЗЫВАЕМЫЙ ЗАКОН БЭРА*

Общеизвестно, что русла рек имеют тенденцию приобретать извилистую форму, вместо того чтобы следовать линии максимального уклона местности. Географам также хорошо известно, что реки северного полушария размывают главным образом правый берег. Реки южного полушария ведут себя противоположным образом (закон Бэра). Предпринималось много попыток для объяснения этого явления, и я не уверен, будет ли для знатоков новым то, что я скажу ниже; некоторая часть моих соображений, несомненно, является уже известной. Тем не менее, не найдя никого, кто бы до конца был знаком с причинами обсуждаемых эффектов, я считаю уместным дать здесь их краткое качественное описание.

Прежде всего ясно, что эрозия должна быть тем сильнее, чем больше скорость потока там, где он касается рассматриваемого берега; точнее, эрозия должна быть сильнее в том месте ограничивающей стенки, где скорость потока наиболее быстро падает до нуля. Это является правильным при всех обстоятельствах, независимо от того, обусловлена ли эрозия механическими или физико-химическими факторами (разложение почвы). Поэтому нам следует сконцентрировать свое внимание на обстоятельствах, которые влияют на величину градиента скорости у стенки.

В обоих случаях асимметрия обсуждаемого падения скорости косвенно обусловлена образованием циркуляции, на которой мы и сосредоточим наше внимание. Я начну с небольшого эксперимента, который каждый может легко повторить.

Представим себе чашку с плоским дном, полную чая. Пусть на дне ее имеется несколько чайнок, которые остаются там, так как оказываются тяжелее вытесняемой ими жидкости. Если с помощью ложки привести во вращение жидкость в чашке, то чайники быстро соберутся в центре дна чашки. Объяснение этого явления заключается в следующем. Вращение

* *Die Ursache der Mäanderbildung der Flussläufe und des sogenannten Baerschen Gesetzes.* Naturwiss., 1926, 14, 223—224. (Должено на собрании Прусской Академии 7 января 1926 г.— *Ред.*)

жидкости приводит к появлению центробежных сил. Эти силы сами по себе не могли бы привести к изменению потока жидкости, если бы последняя вращалась как твердое тело. Но слои жидкости, находящиеся по соседству со стенками чашки, задерживаются благодаря трению, так что угловая скорость, с которой они вращаются, оказывается меньше, чем в других местах, более близких к центру. В частности, угловая скорость вращения, а следовательно, и центробежная сила, будут вблизи дна меньше, чем вдали от него. Результатом этого явится круговое движение жидкости, подобное изображенному на рис. 1, которое возрастает до тех пор, пока под влиянием трения не станет стационарным. Чаинки сносятся в центр круговым движением, чем и доказывают его существование.

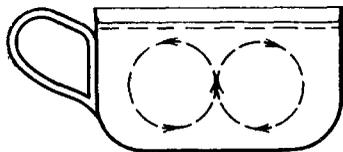


Рис. 1

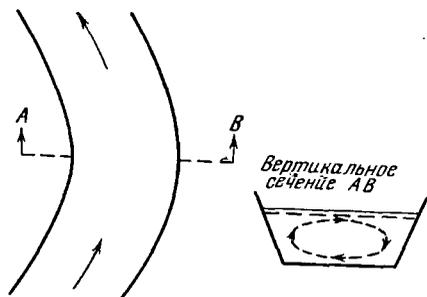


Рис. 2

Подобного же рода явление происходит в искривленном речном потоке (рис. 2). В каждом его поперечном сечении, там, где он искривлен, центробежная сила действует в направлении наружной стороны поворота реки (от *A* к *B*). Эта сила около дна, где скорость течения ослаблена трением, оказывается меньше, чем соответствующая сила в слоях, более высоко расположенных над дном. Это обуславливает круговое движение, показанное на рис. 2. Даже там, где нет искривлений реки, круговое движение, подобное показанному на рис. 2, будет все-таки происходить, хотя и в небольших масштабах, как результат вращения Земли. Последнее приводит к появлению силы Кориолиса, действующей перпендикулярно направлению течения, правая горизонтальная составляющая которой равна $2v\Omega \sin\varphi$ на единицу массы жидкости, где v — скорость течения, Ω — угловая скорость вращения земли и φ — географическая широта. Так как трение о грунт приводит к уменьшению этой силы при приближении ко дну, то эта сила также приводит к возникновению кругового движения типа, показанного на рис. 2.

После этого предварительного обсуждения вернемся к вопросу о распределении скоростей по поперечному сечению потока, что является определяющим фактором в эрозии. Для этой цели мы прежде всего должны ясно представить себе, как развивается и сохраняется (турбулентное) распределение скоростей. Если вода, сначала находившаяся в покое, вдруг была бы приведена в движение действием равномерно распределенной силы, то распределение скоростей по поперечному сечению оставалось бы сначала равномерным. Распределение скоростей, постепенно возрастающих от ограничивающих стенок в направлении к центру поперечного сечения, установилось бы лишь спустя некоторое время под влиянием трения о стенки. Нарушение (грубо говоря) стационарного распределения скоростей по поперечному сечению произойдет также постепенно под влиянием трения жидкости.

Гидродинамика следующим образом описывает процесс, в результате которого устанавливается это стационарное распределение скоростей. В плоском (потенциальном) потоке все вихревые нити сконцентрированы у стенок. Они отделяются и медленно движутся к центру поперечного сечения русла, распределяясь по слою возрастающей толщины. В связи с этим градиент скорости у стенок постепенно уменьшается. Под действием внутреннего трения жидкости во внутренней части поперечного сечения вихревые нити постепенно поглощаются; их место занимают новые, образующиеся у стенок. Так образуется квазистационарное распределение скоростей. Для нас важным является то, что достижение стационарного распределения скоростей является медленным процессом. Вот почему относительно небольшие постоянно действующие причины способны оказывать значительное влияние на распределение скоростей по поперечному сечению.

Рассмотрим теперь, какое влияние оказывает круговое движение, обусловленное изгибом реки или кориолисовой силой, на распределение скоростей по поперечному сечению реки (см. рис. 2). Частицы жидкости, движущиеся наиболее быстро, оказываются дальше всего от стенок, т. е. в верхней части на середине реки. Эти наиболее быстро движущиеся частицы воды будут переноситься циркуляцией к правому берегу, в то время как к левому будет поступать вода, приходящая из области

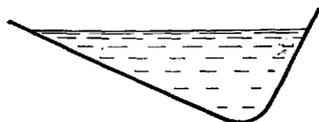


Рис. 3

близ дна и имеющая особо малую скорость. Следовательно, в случае, изображенном на рис. 2, эрозия неизбежно сильнее у правого берега, чем у левого. Следует отметить, что это объяснение существенно основано на том, что медленное циркуляционное движение воды оказывает значительное влияние на распределение скоростей, потому что регулирование ско-

ростей внутренним трением, противодействующее влиянию циркуляционного движения, также является медленным процессом.

Мы показали причины образования извилин (меандр) реки. Однако на основе сказанного также могут быть без труда выяснены некоторые дополнительные детали. Эрозия окажется относительно более сильной не только у правого берега, но также и в правой половине дна, так что возникнет тенденция к образованию профиля, показанного на рис. 3.

Более того, на поверхность будет приходить вода от левого берега, и поэтому, в особенности у левого берега, она будет двигаться с меньшей скоростью, чем в несколько более низких слоях. Это и наблюдается в действительности. Далее следует отметить, что круговое движение обладает инерцией. Поэтому циркуляция будет достигать своего максимума несколько дальше места с наибольшей кривизной; то же самое относится к асимметрии эрозии. Следовательно, в процессе эрозии извилистая линия реки должна смещаться в направлении течения. Наконец, в случае большего поперечного сечения реки циркуляционное движение медленнее уничтожается трением; поэтому размеры извилин реки будут возрастать с увеличением поперечного сечения реки.

Русский перевод статьи был опубликован в журнале «Успехи физических наук», 1956, 59, 185. Немецкий текст статьи был напечатан также в сб. «Mein Weltbild» (1934). Английский перевод был опубликован в сб. «The World as I see it» и «Ideas and Opinions».

ИСААК НЬЮТОН *

Несомненно, что разум кажется нам слабым, когда мы думаем о стоящих перед ним задачах; особенно слабым он кажется, когда мы противопоставляем его безумству и страстям человечества, которые, надо признать, почти полностью руководят судьбами человеческими как в малом, так и в большом. Но творения интеллекта переживают шумную суету поколений и на протяжении веков озаряют мир светом и теплом. Утешившись этой мыслью, возвратимся в эти смутные дни к памяти Ньютона, который был дарован человечеству три столетия тому назад.

Думать о нем, значит думать о его творчестве. Такой человек может быть понят, только если представлять его как сцену, на которой разворачивалась борьба за вечную истину. Задолго до Ньютона находились сильные умы, полагавшие, что возможно дать убедительные объяснения явлений, воспринимаемых нашими чувствами, путем чисто логической дедукции из простых физических гипотез. Но Ньютон был первым, кому удалось найти ясно сформулированную основу, из которой с помощью математического мышления можно было логически прийти к количественному согласующемуся с опытом описанию широкой области явлений. Он в действительности мог надеяться, что фундаментальная основа его механики могла бы со временем дать ключ для понимания всех явлений. Так думали его ученики и последователи вплоть до конца XVIII в., причем с гораздо большей уверенностью, чем сам Ньютон. Но как в его мозгу зародилось это чудо? Такой вопрос — пусть читатель меня извинит — нелогичен. Ибо если бы наш разум мог осилить проблему этого «как», то уже чуда в собственном смысле слова не было бы. Целью всей деятельности интеллекта является превращение некоторого «чуда» в нечто постигаемое. Если в данном случае чудо поддается такому превращению, наше восхищение силой мысли Ньютона только возрастает.

* *Isaac Newton*. Manchester Guardian, 19 March 1927.

Искусно интерпретируя самые простые опытные факты, Галилей установил следующее положение: тело, на которое не действуют никакие внешние силы, сохраняет неизменной свою начальную скорость (и ее направление); если оно меняет скорость (или направление своего движения), изменение должно быть приписано внешней причине.

Чтобы из этого утверждения получить количественные результаты, надо вначале дать точную математическую интерпретацию понятиям скорости и изменения скорости, т. е. ускорения, в случае заданного движения тела, которое можно считать не имеющим размеров (материальной точкой). Эта задача привела Ньютона к открытию основ дифференциального и интегрального исчисления.

Оно само по себе было творческим достижением первого ранга. Но для Ньютона как физика оно было просто изобретением нового рода познавательного языка, в котором он нуждался для формулировки общих законов движения. Теперь он мог выдвинуть гипотезу о том, что для заданного тела его точно определенное по величине и направлению ускорение пропорционально действующей на него силе. Коэффициент пропорциональности, характеризующий способность тела к ускорению, полностью описывает тело (без размеров) в отношении его механических свойств: так было открыто фундаментальное понятие массы.

Все предыдущее может быть названо, правда слишком скромно, точной формулировкой чего-то, сущность чего была познана еще Галилеем. Но Галилею не удалось решить главной задачи. Закон движения определяет движение тела только в том случае, если направление и величина действующей на него силы известны для всех моментов времени. Поэтому задача сводится к другой: как найти действующие силы? Для ума, менее смелого, чем ум Ньютона, эта задача могла казаться неразрешимой, если принять во внимание огромное разнообразие воздействий, которые тела Вселенной способны производить друг на друга. К тому же тела, движения которых мы можем воспринимать, совсем не являются не имеющими размеров точками, т. е. не воспринимаются как материальные точки. Как удалось Ньютону изучить подобный хаос?

Когда мы толкаем тележку по горизонтальной плоскости без трения, сила, с которой мы на нее действуем, непосредственно задана. Это идеальный случай, из которого выведен закон движения. То, что мы имеем здесь дело не с материальной точкой, кажется несущественным.

Что произойдет с телом, падающим в пространстве? Свободно падающее тело ведет себя так же просто, как и материальная точка, если рассматривать его движение в целом. Оно ускоряется вниз.

По Галилею, это ускорение не зависит от природы тела и его скорости. Понятно, что Земля играет решающую роль в существовании этого ускорения. Тогда казалось, что Земля воздействует на тела своим

существованием. Землю можно разбить на многие части. Неизбежно возникла мысль, что на падающее тело действует каждая из этих частей, и все эффекты складываются. Казалось тогда, что существует обусловленная самим присутствием тел сила, с которой эти тела действуют друг на друга через пространство. Эти силы не должны зависеть от скоростей; считалось, что они зависят только от относительного положения и от некоторого количественного свойства различных тел, развивающих эти силы. Это количественное свойство могло быть обусловлено массой, так как казалось, что именно масса характеризует тело с механической точки зрения. Это странное воздействие предметов на расстоянии было названо гравитацией.

Чтобы теперь точно определить этот эффект, остается лишь найти, как велика сила взаимодействия двух тел заданной массы на заданном расстоянии. Что касается направления, то оно, очевидно, совпадает с прямой, их соединяющей. Наконец, остается неизвестной только зависимость этой силы от расстояния между телами. Но ее нельзя узнать априори. В этом случае мог быть полезным только опыт.

Между тем в распоряжении Ньютона такой опыт был. Ускорение Луны на ее орбите известно, и его можно было сравнить с ускорением тела, свободно падающего у поверхности Земли. Впрочем, движения планет вокруг Солнца были определены Кеплером с большой точностью; он описал их простыми эмпирическими законами. Тогда появилась возможность обрисовать, каким образом действие тяготения, идущего от Земли и от Солнца, зависит от фактора расстояния. Ньютон нашел, что все явления могут быть объяснены силой, обратно пропорциональной квадрату расстояния. Этим цель была достигнута. Зародилась наука — небесная механика, — тысячу раз подтвержденная самим Ньютоном и теми, кто пришел после него. Но как быть с остальной физикой? Гравитация и закон движения не могли объяснить всего. Чем обусловлено равновесие частей твердого тела? Как объяснить световые и электрические явления? Казалось, что если ввести материальные точки и различного рода силы, действующие на расстоянии, можно будет удовлетворительным образом вывести все из закона движения.

Эта надежда не сбылась, и теперь никто не думает о разрешении всех наших проблем на этой основе. Несмотря на это, мышление современных физиков в значительной мере обусловлено основополагающими концепциями Ньютона. До сих пор не удалось заменить единую концепцию мира Ньютона другой, столь же всеобъемлющей единой концепцией. Но то, что мы добыли до сих пор, было бы невозможно получить без ясной системы Ньютона.

Интеллектуальные средства, без которых было бы невозможно развитие современной техники, возникли в основном из наблюдения звезд. За зло-

употребление этой техникой в наше время творческие умы, подобные Ньютону, так же мало ответственны, как сами звезды, созерцание которых окрыляло их мысли. Это необходимо сказать, потому что в наше время интеллектуальные ценности сами по себе не вызывают такого же уважения, как в века интеллектуального возрождения.

Статья напечатана также в «Manchester Guardian Weekly», 1927, 16, 234—235; в «Observer», 1927, 50, 146—153 и в «Report of Smithsonian Institution», 1927, 201—207. Русский перевод включен в сб. «Физика и реальность».

К творчеству Ньютона Эйнштейн возвращался и в дальнейшем (ср. статьи 26—28, 42, 44).

МЕХАНИКА НЬЮТОНА И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ФОРМИРОВАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ *

На этих днях исполняется 200 лет со времени кончины Ньютона. Мы должны восстановить в памяти образ этого блестящего гения; он указал Западу пути мышления, экспериментальных исследований и практических построений, как никто другой ни до, ни после него. Ньютон не только создал гениальные методы; он в совершенстве владел всем известным в его время эмпирическим материалом и был исключительно изобретателем в нахождении математических и физических доказательств. По всему этому он заслуживает нашего высокого уважения. Но фигура Ньютона означает больше, чем это вытекает из его собственных заслуг, ибо самой судьбой он был поставлен на поворотном пункте умственного развития человечества. Чтобы это образно представить себе, вспомним, что до Ньютона не существовало законченной системы физической причинности, системы, которая бы как-то отражала более глубокие черты внешнего мира.

Правда, еще древнегреческие материалисты выдвигали требование сведения всего происходящего в материальном мире к строго обусловленным законами движениям атомов; при этом воля живых существ как самостоятельная причина совершенно исключалась. И Декарт по-своему ставил себе эту цель, но его стремление оставалось смелым желанием, проблематичным идеалом философской мысли. Однако до Ньютона вряд ли существовали те фактические результаты, которые могли бы обосновать мечту о полной физической причинности.

Цель Ньютона заключалась в том, чтобы дать ответ на вопрос: существует ли простое правило для полного вычисления движения небесных тел нашей планетной системы по заданному состоянию движения всех этих тел в один определенный момент времени? Выведенные Кеплером из наблюдений Тихо Браге эмпирические законы движения планет уже были известны и требовали своего объяснения. Сегодня каждый знает, какое огромное, поистине пчелиное, трудолюбие требовалось, чтобы установить

* *Newtons Mechanik und ihr Einfluß auf die Gestaltung der theoretischen Physik.* Naturwiss., 1927, 15, 273—276.

эти законы, исходя из эмпирически найденных орбит. Но мало кто себе представляет гениальность метода, с помощью которого Кеплер определил истинные орбиты, исходя из кажущихся, т. е. из наблюдавшихся с Земли движений. Эти законы дают полное описание движения планеты вокруг Солнца: эллиптическую форму орбит, равенство секториальных скоростей, отношение между большими полуосями и периодами обращения. Но эти законы не удовлетворяли требованию причинного объяснения. Они представляли собой три логически независимых друг от друга правила, лишенных всякой внутренней связи. Третий закон количественно нельзя было безоговорочно перенести на другое, отличное от Солнца, центральное тело (не существует, например, никакой связи между периодом обращения планеты вокруг Солнца и периодом обращения спутника вокруг своей планеты). Но самое главное заключается в том, что эти законы относятся к движению в целом и *не позволяют вывести из состояния движения в некоторый момент времени другое состояние, во времени непосредственно следующее за первым*. По современной терминологии мы бы сказали, что они являются законами интегральными, а не дифференциальными.

Дифференциальный закон является той единственной формой причинного объяснения, которая может полностью удовлетворять современного физика. Ясное понимание дифференциального закона есть одно из величайших духовных достижений Ньютона. Но необходима была не только идея о законе, но и математический формализм, который, правда, существовал в зачатке, но которому нужно было придать систематическую форму. Ее-то и нашел Ньютон в дифференциальном и интегральном исчислении. Не будем обсуждать здесь вопроса, независимо ли от Ньютона пришел Лейбниц к тем же математическим методам или нет. Во всяком случае их развитие было для Ньютона необходимостью, ибо только они давали способы выражения его мыслей.

Важный шаг к познанию законов движения был сделан еще Галилеем. Он нашел закон инерции и закон свободного падения в поле тяготения Земли: масса (точнее, материальная точка), на которую не действуют другие массы, движется равномерно и прямолинейно. Вертикальная скорость свободно падающего тела возрастает в поле тяжести пропорционально времени. Сегодня нам может казаться, что только небольшой шаг отделяет результаты Галилея от законов Ньютона. Но все-таки следует отметить, что оба вышеприведенных утверждения Галилея по форме относятся к движению в целом, тогда как закон движения Ньютона отвечает на вопрос: как меняется состояние движения материальной точки за бесконечно малое время под действием внешней силы? Только переход к рассмотрению явления за бесконечно малое время (т. е. к дифференциальному закону) позволил Ньютону дать формулировку, пригодную для описания любого движения. Понятие о силе он заимствовал из статики,

которая к тому времени была достаточно хорошо развита. Установление связи между силой и ускорением становится возможным только после введения нового понятия массы, которое, впрочем, обосновывается только кажущимся определением. Мы сегодня настолько привыкли к образованию понятий, соответствующих производным, что вряд ли в состоянии оценить ту огромную силу абстракции, которая потребовалась для установления общего дифференциального уравнения движения путем двукратного перехода к пределу, тем более, если при этом учесть, что понятие массы необходимо было еще найти. Но этим далеко еще не было достигнуто причинное понимание явлений движения. Уравнение движения только тогда определяет само движение, когда задана сила. Ньютоном владела навеянная закономерностями движения планет мысль что действующая на некоторую массу сила зависит от положения всех остальных масс, расположенных достаточно близко от рассматриваемой. Только после установления этой зависимости было получено окончательное причинное объяснение явлений движения. Каким образом, исходя из кеплеровых законов движения планет, Ньютон разрешил эту задачу для тяготения и этим показал тождественность силы тяжести и сил, действующих на небесные тела, общезвестно. Только совокупность

(Закон движения) плюс (Закон тяготения)

образует ту замечательную систему мыслей, которая в случае, когда явления происходят под действием одной лишь силы тяготения, позволяет по заданному в определенный момент состоянию движения найти как предшествующие, так и последующие состояния.

Логическая замкнутость системы понятий Ньютона обусловлена тем, что в качестве единственной причины ускорения масс некоторой системы выступают эти же массы.

На основе изложенного Ньютону удалось объяснить до мельчайших деталей движения планет, Луны и комет, явление приливов и отливов, прецессионное движение Земли. Это был дедуктивный труд, исключительный по своей грандиозности. Особенно замечательным должно было казаться выяснение того факта, что причина движения небесных тел тождественна столь привычной нам из повседневной жизни силе тяжести.

Но значение трудов Ньютона заключается не только в том, что им была создана практически применимая и логически удовлетворительная основа собственно механики, но и в том, что до конца XIX в. эти труды служили программой всех теоретических исследований в физике. Все физические явления сводились к массам, подчиняющимся законам движения Ньютона. Следовало только расширить закон силы, приспособив его к рассматриваемому кругу явлений. Сам Ньютон пытался осуществить эту программу в оптике, считая, что свет состоит из частиц, обладающих инер-

цией. После того как законы движения Ньютона были применены к непрерывно распределенным массам, ими стали пользоваться и в волновой оптике.

Исключительно на законах движения Ньютона основывалась и кинетическая теория тепла, которая не только подготовила умы к познанию закона сохранения энергии и глубокому пониманию сущности второго начала термодинамики, но и дала подтвержденную до тонкостей на опыте теорию газов. Учение об электричестве и магнетизме до новейшего времени также всецело развивалось под влиянием направляющих идей Ньютона (электрическая и магнитная субстанции, силы дальнего действия). Даже произведенный Фарадеем и Максвеллом в электродинамике и оптике переворот, означавший первый после Ньютона крупный принципиальный шаг в развитии основ теоретической физики, был совершен под влиянием идей Ньютона. Максвелл, Больцман, лорд Кельвин неустанно пытались сводить электромагнитные поля и их динамические взаимодействия к механическим явлениям в непрерывно распределенных гипотетических массах. Но вследствие бесплодности, или, по крайней мере, малой плодотворности этих усилий к концу XIX в. постепенно наметился переворот в основных представлениях; теоретическая физика переросла рамки ньютоновских идей, которые на протяжении почти двух столетий служили ей опорой и идейным руководством.

Основные принципы Ньютона были с логической точки зрения столь удовлетворительными, что стремление к их обновлению могло возникнуть только под давлением опытных фактов. Прежде чем перейти к этому вопросу, я должен подчеркнуть, что Ньютон знал слабости построенной им системы лучше, чем последующие поколения ученых. Это обстоятельство всегда вызывало во мне чувство почтительного удивления; поэтому я хотел бы на этом остановиться.

1. Хотя всюду заметно стремление Ньютона представить свою систему как с необходимостью, вытекающую из опыта, и вводить возможно меньше понятий, не относящихся непосредственно к опыту, он тем не менее вводит понятия абсолютного пространства и абсолютного времени. В наше время ему часто ставили это в упрек. Но именно в этом пункте Ньютон особенно последователен. Он обнаружил, что наблюдаемые геометрические величины (расстояния между материальными точками) и их изменения во времени в физическом смысле не характеризуют полностью движения. Это положение он доказывает своим знаменитым опытом с ведром¹. Следовательно, кроме масс и изменяющихся во времени расстояний между ними, существует еще нечто такое, что определяет происходящие события; это «нечто» он воспринимал как отношение к «абсолютному пространству». Ньютон понимал, что его законы могут иметь смысл только в том случае, если

¹ Ср. примечание к статье 65 (стр. 227).— *Прим. ред.*

пространство обладает физической реальностью в той же мере, как материальные точки и расстояния между ними.

Ясное понимание им этого обстоятельства выявляет как мудрость Ньютона, так и слабости его теории. Логическое построение его теории было бы безусловно более удовлетворительным без этого призрачного понятия; тогда в законах фигурировали бы только такие объекты (материальные точки, расстояния), отношение которых к опытному восприятию вполне ясно.

2. Введение мгновенно действующих на расстоянии сил для представления гравитационных эффектов не соответствует характеру большинства явлений, знакомых нам из повседневного опыта. Ньютон предупреждает эти возражения, указывая, что на его закон следует смотреть не как на окончательное объяснение, а как на выведенное из опыта правило.

3. Учение Ньютона не давало никакого объяснения тому в высшей степени замечательному факту, что вес и инерция тела определяются одной и той же величиной (массой). Достопримечательность этого факта также не ускользнула от Ньютона.

Ни один из этих трех пунктов не возвышается до ранга логического возражения против теории. Они лишь в известной степени выражают неутоленное стремление научного духа, борющегося за всеобъемлющее проникновение в явления природы и их объяснение с единой точки зрения.

Первый удар по учению Ньютона о движении как программе для всей теоретической физики нанесла максвелловская теория электричества. Оказалось, что обусловленное электрическими и магнитными зарядами взаимодействие между телами является следствием не действующих между ними мгновенных сил дальнего действия, а процессов, распространяющихся в пространстве с конечной скоростью. Согласно концепции Фарадея, наряду с материальной точкой и ее движением появилась нового рода физическая реальность, а именно «поле». Исходя из механических представлений, сначала пытались рассматривать поле как некоторое механическое состояние (движения или напряжения) гипотетической среды (эфира), заполняющей пространство. Но поскольку, несмотря на настойчивые попытки, такая механическая трактовка не увенчалась успехом, постепенно привыкли рассматривать «электромагнитное поле» как последний, не сводимый ни к чему другому, структурный элемент физической реальности. Генриху Герцу мы обязаны сознательным очищением понятия поля от всего побочного, внесенного механическими представлениями, а Г. А. Лоренцу — отделением понятия поля от его материального носителя. По мнению последнего, носителем поля является только физически пустое пространство (или эфир), которому уже механика Ньютона приписывала определенные физические функции. Когда эта эволюция завершилась, никто уже не верил в непосредственное мгновенное действие на расстоянии даже

в области тяготения, хотя из-за отсутствия достаточного количества фактов теория поля тяготения не была еще однозначно разработана. После того как отказались от гипотезы Ньютона о силах дальнего действия, развитие теории электромагнитного поля привело к попыткам объяснения законов движения Ньютона с электромагнитной точки зрения или их замены более точными, основанными на теории поля. Хотя эти попытки не завершились полным успехом, тем не менее основные понятия механики перестали быть фундаментом для физической картины мира.

Теория Максвелла — Лоренца неизбежно вела к специальной теории относительности, которая, разрушив понятие абсолютной одновременности, исключила возможность существования сил дальнего действия. По этой теории, масса не является неизменной величиной, а зависит от количества энергии и даже равна ей. Она показала также, что закон движения Ньютона надо рассматривать только как предельный, пригодный для малых скоростей; на его место она поставила новый закон движения, в котором скорость света в пустоте выступает в качестве предельной скорости.

Последним шагом в осуществлении программы теории поля является общая теория относительности. Количественно она мало меняет теорию Ньютона, но зато она ввела глубокие качественные изменения. Инерция, гравитация и метрическое поведение тел и часов сводится к единому свойству поля, а само поле представлено зависящим от тел (это обобщение закона тяготения Ньютона или соответствующего ему закона поля в формулировке Пуассона). Пространство и время были лишены, таким образом, не своей реальности, а своей каузальной абсолютности (влияющее, но не поддающееся влиянию), которую вынужден был им приписывать Ньютон для того, чтобы получить возможность выразить известные тогда законы. Обобщенный закон инерции перенял роль закона движения. Из этой краткой характеристики становится уже ясным, как элементы теории Ньютона перешли в общую теорию относительности, благодаря чему были преодолены указанные выше три недостатка. По-видимому, в рамках общей теории относительности закон движения можно вывести из закона поля, соответствующего ньютоновскому закону сил. Только после достижения этой цели можно будет говорить о чистой теории поля.

Механика Ньютона подготовила путь для теории поля и в другом, более формальном смысле. Использование в механике Ньютона непрерывно распределенных масс с необходимостью приводило к открытию и применению дифференциальных уравнений в частных производных, которые, в свою очередь, дали язык, необходимый для выражения законов теории поля. В этом формальном отношении ньютоновская концепция дифференциального закона представляет собой первый решительный шаг к дальнейшему развитию.

Все развитие наших представлений о явлениях природы, о котором шла речь до сих пор, может рассматриваться как органическое продолжение ньютоновских идей. Но еще в то время, когда разработка теории поля шла полным ходом, опытные факты, касавшиеся теплового излучения, спектров, радиоактивности и т. д., указали границу применимости всей этой системы идей; эта граница еще и сегодня, несмотря на гигантские успехи в отдельных направлениях, кажется нам непреодолимой. Не без серьезных оснований многие физики утверждают, что перед лицом этих фактов оказывается бессильным не только дифференциальный закон, но и закон причинности, бывший до сих пор основным постулатом всего естествознания. Отрицается сама возможность пространственно-временного построения, однозначно соответствующего физическим явлениям. Вряд ли можно вывести из полевой теории, оперирующей дифференциальными уравнениями, непосредственно вытекающую из опыта дискретность значений энергии (или дискретность стационарных состояний) механической системы. Метод де Бройля — Шредингера, имеющий в известном смысле характер теории поля, позволяет, правда, вывести на основе дифференциальных уравнений и соображений о своеобразном резонансе существование дискретных состояний в поразительном соответствии с данными опыта; но те, кто применяют этот метод, вынуждены отказываться от локализации материальных частиц и от строго каузальных законов. Кто осмелится сегодня ответить на вопрос о том, нужно ли окончательно отказаться от дифференциальных и каузальных законов, этих главных составных частей ньютоновской концепции природы?

Статья перепечатана также в сб. «Mein Weltbild» (стр. 191—200). Русский перевод включен в сб. «Физика и реальность».

К 200-ЛЕТИЮ СО ДНЯ СМЕРТИ ИСААКА НЬЮТОНА *

Среди людей, которыми мы восхищаемся и которых почитаем, можно более или менее отчетливо различить три типа. Первый тип — это волевые и решительные люди. Именно о них (или почти исключительно о них) идет речь в школе, на уроках того, что называют историей, а точнее, того, что является историей чудовищных насилий, государственных организаций и массовых психозов человечества. Таковы, например, политики и генералы. Большинство людей этого типа оказались бы забытыми через несколько поколений, если бы они не служили объектами истории и драматического искусства. Второй тип — это люди, чья духовная деятельность обеспечила, улучшила или обогатила жизнь целых поколений людей. К этому типу относятся прежде всего изобретатели и целители, чья деятельность протекает в области медицины, техники, социальной и экономической организации. Третий (на мой взгляд, высший) тип охватывает людей, способствовавших подъему человечества в целом на новую ступень переживаний, созерцания, нравственного бытия и сознания и тем самым указавших смысл жизни. К их числу относятся великие художники, создатели этических канонов и мыслители. Для человечества они означают то же, что органическая жизнь — для материи: они являются носителями более высокого сознания. Гением именно этого последнего и высшего типа был Ньютон.

Нетрудно охарактеризовать научные деяния Ньютона, навсегда обеспечившие ему особое место в истории духовного развития человечества. Ньютон был первым, кто попытался сформулировать элементарные законы, определяющие временной ход обширного класса процессов в природе с высокой степенью полноты и точности. Его законам движения вместе с законом тяготения подчиняется движение всех небесных тел, происходя-

* *Zu Isaak Newton 200. Todestage.* Nord und Süd, 1927, 50, 36—40.

щее под действием сил взаимного притяжения. Тем самым Ньютон осуществил мечты философов-материалистов древности — Демокрита и Эпикура, считавших, что должна существовать причинная взаимосвязь всех без исключения физических явлений. После этих успехов вряд ли остались какие-нибудь сомнения в том, что развитие вообще всех материальных явлений происходит с необходимой закономерностью, которую можно было бы сравнить с ходом часов. Кроме того, стало очевидно, что процессы мышления должны быть неразрывно связаны с материальными процессами, протекающими в мозгу, и поэтому стала неизбежной идея о том, что и в основе мышления и желаний человека и животных должны лежать те же строго причинные закономерности. Таким образом, Ньютон оказал своими трудами глубочайшее и сильнейшее влияние на все мировоззрение в целом.

Теперь мы знаем, что тяготение не является единственной силой, действующей в природе. Тяготение не может объяснить силы сцепления в телах, электрические силы, свет. Однако теория движения Ньютона, по видимому, может служить вполне достаточным фундаментом для понимания любого физического процесса, если предположить, что между частицами материи помимо сил тяготения действуют еще и силы совсем иного рода. Такое расширение теории движения было начато еще самим Ньютоном, применившим ее, например, к теории света.

Таким образом, Ньютон заложил основы той совокупности законов природы, которая позволяет понять законы всех явлений. Ньютон считал, что этого можно достичь за счет сведения любых процессов к движениям частиц, взаимодействующих между собой. Эта программа продержалась вплоть до второй половины XVIII века и доказала свою плодотворность в области физики.

Попытаемся хотя бы немного проникнуть в лабораторию ньютоновской мысли.

Поле деятельности для великого систематизатора, каким был Ньютон, подготовили Галилей и Кеплер. Галилей открыл, что «невозмущенное движение» тела прямолинейно и равномерно. При этом под «невозмущенным движением» тела следует понимать движение тела, на которое не действуют другие тела. В этом состоит закон инерции. Его можно сформулировать следующим образом: направление движения и скорость тела остаются постоянными, коль скоро отсутствуют внешние воздействия на тело, называемые силами. Галилей открыл также, что на поверхности Земли скорость свободно падающего тела в равные промежутки времени увеличивается на равные величины.

Ньютон поставил общий вопрос: как изменяется скорость свободного тела под действием произвольно заданной силы? Это — гораздо более общая задача по сравнению с тем, которую рассматривал Галилей, ибо дей-

ствующая сила по своей величине и направлению может произвольно меняться со временем; ответ на нее связан с рассмотрением произвольного движения; он должен содержать общий закон движения. Эта задача может быть решена с помощью решенной Галилеем задачи о падении свободного тела под действием силы тяжести, но она требует нового математического аппарата, специально созданного для этой цели Ньютоном, а именно: дифференциального и интегрального исчисления. Ньютона можно сравнить с поэтом, чьи стихи настолько тонки, что их можно написать только на новом языке, создать который должен сам поэт.

Что же такое, собственно говоря, скорость движущегося тела, представляющего собой материальную точку? Представим себе произвольное движение такого тела.

Рассмотрим два момента времени, разделенных между собой малым промежутком τ . В эти моменты времени тело находится в точках пространства P и Q , расположенных близко друг от друга. Отрезок $P - Q$ представляет собой путь, пройденный телом за время τ . Если представить себе, что отрезок $P - Q$ продолжен за точку Q и на его продолжении отложен отрезок, длина которого во столько раз превосходит длину отрезка $P - Q$, во сколько раз единица времени больше τ , то мы получим скорость материальной точки в точке P в виде стрелки определенной длины — так называемого вектора. Однако это не вполне точно. Произвольный выбор промежутка времени τ скажется, хотя и незначительно, на результате. Более точно можно было бы утверждать следующее: построенная нами стрелка тем точнее представляет скорость, чем меньше выбранный промежуток времени τ . Это — математически точное определение вектора скорости с помощью предельного перехода. Ускорение определяется по скорости так же, как скорость — по заданному движению. В каждый момент времени скорость задается с помощью вектора. Представим себе, что скорость тела в некоторый момент времени задана вектором L , имеющим определенную длину и направление. По истечении малого промежутка времени τ скорость изменится, т. е. новый вектор скорости, M , будет иметь какую-то другую длину и другое направление. Представим себе, что начала векторов L и M перенесены в одну точку. Тогда концы векторов L и M совпадать не будут. Направленный отрезок $S - T$, соединяющий концы векторов, будет изображать изменение скорости за промежуток времени τ . Если отрезок $S - T$ продолжить за точку T и отложить от точки S новый отрезок, длина которого больше длины отрезка $S - T$ во столько раз, во сколько единица времени больше τ , то мы получим изменение скорости в единицу времени, т. е. ускорение. Ускорение также будет изображаться стрелкой, или вектором. В этом случае нам также потребуется предельный переход. Это определение будет тем точнее, чем меньше выбранный промежуток времени τ .

По Ньютону, ускорение, определение которого было только что сформулировано, можно измерить непосредственно по силам, действующим на материальную точку. Это не означает, однако, что вектор силы совпадает с вектором ускорения, ибо ясно, что для того, чтобы привести в движение массу в 2 кг, требуется вдвое большая сила, чем для того, чтобы привести в движение массу в 1 кг. Так Ньютон пришел к необходимости введения массы тела и к установлению знаменитого закона движения:

Вектор ускорения \times Масса = Вектор силы.

Это — фундамент всей механики и, пожалуй, всей теоретической физики.

Если предположить, что сила, действующая на материальную точку, задана для любого момента времени, то ускорение этой точки в любой момент времени будет известно. После этого нахождение ее скорости и положения для любого момента времени будет представлять собой уже не физическую, а чисто математическую задачу.

Но каким образом Ньютон мог найти силы, действующие на небесные тела? Ясно, что правильное выражение для этих сил он не мог высосать из пальца. Ему ничего не оставалось, как действовать в обратном порядке и найти эти силы по известным движениям планет и Луны. Зная эти движения, он вычислил ускорения, а зная их, смог найти силы. Все это он совершил, будучи 23-летним юношей и находясь в деревенском уединении.

Нам достались лишь скудные сведения о творческой лаборатории Ньютона. Однако весьма правдоподобно, что он поступил именно так, как мы говорили. Движение Луны вокруг Земли было известно; следовательно, было известно и ускорение, сообщаемое Землей Луне. Чтобы траектория движения Луны вокруг Земли была такой, как мы ее видим, необходимо, чтобы ускорение было направлено к центру Земли. Было известно также и ускорение, сообщаемое Землей телам, падающим вблизи ее поверхности. Путем сравнения Ньютон обнаружил, что эти ускорения относятся как обратные величины квадратов радиуса Земли и расстояния от Земли до Луны, соответственно. Таким образом, возникло предположение, что сила притяжения Земли изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния. Не будет ли любая масса вести себя так же, как Земля? Это предположение блестяще подтвердилось: гипотеза, примененная к силе тяготения Солнца, позволила полностью объяснить законы движения планет, установленные Кеплером на основе наблюдений за движением планет, произведенных Тихо Браге. Сделать это было не так-то просто, ибо для того, чтобы из закона, по которому изменяется сила и ускорение, получить закон изменения положения, требуются тонкие математические соображения. Закон, по которому изменяется сила тяготения от расстояния, предложенный Ньютоном, увенчался блестящим успехом, ибо благодаря достойному восхищения анализу Кеплера законы движения планет были

известны с высокой точностью. Единственным облачком на небосклоне Ньютона являлось то, что связь между расстоянием до Луны и ее траекторией, о которой говорилось выше, лишь приближенно, но отнюдь не точно, удовлетворяла закону тяготения Ньютона. Однако спустя шесть лет Пикар, занимавшийся измерением длины меридиана, показал, что причиной этого расхождения была неточность в определении радиуса Земли, и тогда теория Ньютона встала на такую прочную основу, как ни одна теория до нее.

Новые идеи содержались и в трудах Ньютона, посвященных теории света; однако о них мы упомянем лишь кратко. Еще меньше нас будут интересовать внешние события и то, что он был профессором математики и занимался чеканкой монет. Следует, однако, упомянуть, что английский народ показал себя достойным того дара небес, каким был для него и для всего мира Ньютон. Точно так же следует сказать и о том, что Ньютон был очень религиозным человеком. Именно из этого глубокого чувства он, несомненно, черпал те сверхчеловеческие силы, которые были необходимы для свершения дела всей его жизни.

Ныне место ньютоновской схемы далекодействующих сил заняла теория поля, претерпели изменение и его законы движения; но все, что было создано после Ньютона, является дальнейшим органическим развитием его идей и методов. И сегодня в Германии мы чтим его как одного из тех, кому современная духовная жизнь обязана своим началом.

**ПИСЬМО В КОРОЛЕВСКОЕ ОБЩЕСТВО
ПО СЛУЧАЮ 200-ЛЕТИЯ
СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ НЬЮТОНА ***

Вы, англичане, в большей степени, чем любой другой народ, храните традиции, а также живую и осознанную преемственность поколений. Тем самым вы сделали неувыдаемыми и зримыми отличительные особенности души вашего народа и духовный подъем всего человечества. Сейчас вы собрались в Грантхэме, чтобы через пропасть времени протянуть руку ушедшему от нас гению и чтобы подышать воздухом тех мест, где он постиг основные понятия механики и физической причинности. Все, кто принимает скромное участие в размышлениях над тайнами физических явлений, мысленно находятся в эту минуту вместе с вами и объединены теми восхищением и любовью, которые связывают нас с Ньютоном. Что же произошло со времен Ньютона в теоретической физике и в органическом развитии его идей? Для Фарадея, Максвелла и Лоренца сила стала самостоятельной реальностью и была заменена концепцией поля. Причинность стала выражать с помощью уравнений в частных производных вместо обыкновенных дифференциальных уравнений, которыми пользовался Ньютон. Теория относительности превратила ньютоновское абсолютное и неподвижное пространство в физическую конструкцию, имеющую жизненно важное значение. Только в квантовой механике дифференциальный метод Ньютона перестал соответствовать действительности, и строгая причинность покинула нас. Но последнее слово в этой области еще не сказано. Пусть же дух ньютоновского метода даст нам силу для восстановления согласия между физической реальностью и наиболее глубокой чертой учения Ньютона — строгой причинностью.

* *Letter to Royal Society on the Occasion of the Newton bi-centenary.* Nature, 119, 1927. 467.

РЕЧЬ У МОГИЛЫ Г. А. ЛОРЕНЦА*

Как представитель научной общественности стран, говорящих на немецком языке, как представитель Прусской Академии наук и прежде всего как ученик и преданный почитатель стою я у могилы величайшего и благороднейшего из наших современников. Его блестящий ум указал нам путь от теории Максвелла к достижениям физики наших дней. Именно он заложил краеугольные камни этой физики и создал ее методы.

Свою жизнь он до мельчайших подробностей создавал так, как создают драгоценное произведение искусства. Никогда не оставлявшие его доброта, великодушие и чувство справедливости вместе с глубоким, интуитивным пониманием людей и обстановки делали его руководителем всюду, где бы он ни работал. Все с радостью следовали за ним, чувствуя, что он стремится не властвовать над людьми, а служить им. Образ и труды его будут служить на благо и просвещение еще многих поколений.

* *Ansprache am Grabe von H. A. Lorentz*. Math.-naturwiss. Blätter, 1928, 22, 24. (Перепечатано в «Mein Weltbild», 1934, стр. 25.— *Ред.*)

ЗАСЛУГИ Г. А. ЛОРЕНЦА В ДЕЛЕ МЕЖДУНАРОДНОГО СОТРУДНИЧЕСТВА *

При той далеко идущей специализации, которую принес с собой девятнадцатый век, те, кто занимает ведущее положение в одной из наук, редко находят в себе силы, чтобы оказывать обществу ценные услуги в области международного сотрудничества и политики. Такая деятельность требует не только энергии, понимания важности проблем и солидной репутации, основанной на крупных научных достижениях, но и редкой в наше время независимости от национальных предрассудков и преданности общим интересам. Я не встречал никого, в ком эти качества сочетались бы с таким совершенством, как у Г. А. Лоренца. Но самым замечательным в его личности было другое. Независимые и сильные натуры, часто встречающиеся среди ученых, неохотно подчиняются чужой воле и в большинстве случаев оказывают сильное сопротивление тем, кто пытается ими руководить. Если же в президентском кресле сидел Лоренц, то неизменно создавалась атмосфера дружественного сотрудничества, несмотря на то, что цели и образ мыслей присутствовавших могли значительно отличаться. Секрет такого успеха объясняется не только тем, что Лоренц умел быстро разбираться в людях и событиях и великолепно владел речью. В первую очередь это объясняется тем, что все чувствовали: Лоренц беззаветно предан делу и целиком отдает ему себя. Ничто так не обезоруживало непокорных, как это.

До войны деятельность Лоренца на поприще международного сотрудничества ограничивалась его председательствованием на физических конгрессах. В частности, можно назвать Сольвеевские конгрессы, первые из которых происходили в Брюсселе в 1909 и 1911 гг. Затем разразилась война в Европе, явившаяся тягчайшим ударом для всех, кто принимал близко к сердцу дело улучшения сотрудничества между народами. Еще во время войны Лоренц стал отдавать много сил делу международного при-

* *H. A. Lorentz. Tätigkeit im Dienst der internationalen Zusammenarbeit. Math.-naturwiss. Blätter, 1928, 22, 24—25.* (Перепечатано в «Mein Weltbild», стр. 25—29. — *Ред.*).

мирения. Особенно ярко проявилась его деятельность после окончания войны. Исключительно большие усилия он направлял на восстановление плодотворного и дружественного сотрудничества между отдельными учеными и научными обществами. Тот, кто не был рядом с ним, вряд ли сможет себе представить, какой огромной была эта работа. Ненависть, накопившаяся за время войны, еще не исчезла, и многие влиятельные люди под давлением обстоятельств все еще занимали непримиримую позицию. Поэтому деятельность Лоренца напоминала усилия врача, который лечит непослушного пациента, отказывающегося принимать тщательно приготовленные для его же пользы лекарства.

Но Лоренц не давал себя запугать, если знал, что избранный им путь верен. Сразу же после окончания войны он вошел в руководство «Совета по исследованиям», созданного учеными стран-победительниц. Ни отдельные ученые, ни научные общества «центральных держав» (т. е. Германии и Австро-Венгрии.— *Ред.*) в этот совет включены не были. Этим своим шагом, который был расценен как обида ученых «центральных держав», Лоренц намеревался оказать свое влияние на эту организацию и превратить ее в подлинно международный орган. После неоднократных попыток ему и другим благоразумным членам Совета удалось исключить те пункты из устава этой организации, в которых говорилось о том, что ученые «центральных держав» не могут участвовать в ее работе. Однако цель, состоявшая в восстановлении нормального и плодотворного сотрудничества между научными обществами, достигнута еще не была, поскольку ученые «центральных держав», раздраженные длившимся почти десять лет исключением почти из всех международных организаций, привыкли держаться обособленно. Однако можно было надеяться, что лед будет сломлен благодаря тактичным усилиям, предпринимавшимся Лоренцом ради общего блага.

Кроме этого, Г. А. Лоренц отдал много сил развитию международного культурного сотрудничества, согласившись работать в комиссии Лиги Наций по интеллектуальному сотрудничеству под председательством Бергсона, которая была создана пять лет тому назад. В течение последнего года председателем этой комиссии, которая при активной поддержке подчиненного ей Парижского института должна была стать посредником в области интеллектуальной деятельности и искусства между различными кругами деятелей культуры, был Лоренц. И здесь также сказалось благотворное влияние его ума, человеколюбия, скромности и других личных качеств. Его девизом, которому он неизменно следовал, но никогда не высказывал вслух, были слова:

«Не властвовать, а служить».

Пусть же его пример послужит торжеству этого принципа!

ПО ПОВОДУ КНИГИ ЭМИЛЯ МЕЙЕРСОНА „РЕЛЯТИВИСТСКАЯ ДЕДУКЦИЯ“ *

Нетрудно понять, чем обусловлено неповторимое своеобразие этой книги. Ее автором является человек, владеющий знанием основных направлений современной физической мысли и обладающий глубокими познаниями в истории философии и точных наук. Острая наблюдательность, присущая автору книги, позволяет ему вскрывать те внутренние психологические связи и мотивы, которые являются движущей силой нашего духовного развития. В его работе удачно сочетаются тонкость логических построений, инстинкт психолога, глубокие познания, простота и ясность изложения.

Основная идея Мейерсона, определившая направление всей работы, состоит, по-видимому, в том, что теорию познания можно построить не с помощью анализа мышления и рассуждений чисто логического порядка, но лишь с помощью рассмотрения и интуитивного схватывания констатаций эмпирического порядка. «Констатация эмпирического», по Мейерсону, состоит из совокупности имеющихся научных результатов и их истории. По-видимому, у автора рассматриваемой нами книги сложилось впечатление, что основной проблемой должна была бы быть проблема соотношения между научным мышлением и содержанием данных нашего опыта, а именно: в какой мере в науках можно говорить об индуктивном и дедуктивном методе? Он отвергает позитивизм так же, как и прагматизм, и борется с увлечением этими философскими течениями. Хотя события и факты действительности и составляют основу всякой науки, они не являются ее содержанием, сущностью. Они просто являются теми данными, которые составляют предмет этой науки. Отсюда следует, что простую констатацию эмпирических соотношений между экспериментальными фактами нельзя считать единственной целью науки. В самом деле, простой констатацией нашего опыта не являются прежде всего связи общего порядка, выражаемые нашими «за-

* *A propos de «La Déduction Relativiste» de M. Émile Meyerson.* Revue Philosophique de la France et de l'Étranger, 1928, 55, 161—166.

конами природы», ибо их можно сформулировать и вывести лишь с помощью рациональных построений, которые не следуют из опыта однозначно. Кроме того, наука не занимается формулированием закона, которому подчиняются данные опыта; она скорее пытается построить логическую систему, состоящую из минимального числа предпосылок, из которой бы как следствия вытекали все законы природы. Эта система, точнее, совокупность входящих в нее понятий, находится в соответствии с данными нашего опыта. С другой стороны, эта система, которая ищет свое обоснование в точном соответствии со всей совокупностью экспериментально полученных фактов, должна отвечать и миру реальных вещей донаучного мышления. Итак, всякая наука строится на некоторой реалистической философской системе. Вывод всех законов, которым подчиняются данные нашего опыта, из утверждений, логически выводимых в рамках рассматриваемой системы, и составляет, по Мейерсону, высшую цель всех научных исследований. К этой цели мы постоянно стремимся, тщетно преследуя ее, ибо достичь этой цели невозможно.

С этой точки зрения Мейерсон является рационалистом, а не эмпириком. Во всяком случае он разделяет критический реализм в смысле Канта. В самом деле, в рассматриваемой системе нет ничего такого, что можно было бы считать априори необходимым, что было бы ее составной частью в силу самой природы нашего мышления. Те же соображения остаются в силе, если говорить о формах логики и о причинности. Мы не имеем права задавать вопрос о том, как *должна быть* построена научная система. Можно спрашивать лишь о том, как она была *построена* на самом деле, на уже завершенных этапах ее эволюции. Ее логические основы так же, как и внутренняя структура, с логической точки зрения являются «согласениями». Свое единственное обоснование научная система находит лишь в том, что она отвечает опытным фактам, унифицирует мышление и содержит небольшое число логических посылок.

Словом «релятивизм» Мейерсон обозначает дедуктивную систему теории относительности. Необходимо отдавать себе ясный отчет в том, что дедуктивная система теории относительности не является чем-то новым, что в корне бы отличалось от дедуктивной системы старой физики (как это могло бы показаться после прочтения некоторых страниц рецензируемой книги). Теории относительности всегда были чужды подобные притязания. Исходя из идеи о том, что не существует никакого физически выделенного состояния движения (принцип относительности), теория относительности выражает эту идею в следующем виде: *уравнения физики должны быть ковариантными относительно любых точечных преобразований четырехмерного пространственно-временного континуума*. Эта идея стала правдоподобной в результате многочисленных наблюдений над светом, инерцией и гравитацией. Этому требованию теории относительности удовлетворяют

(может быть, в несколько модифицированной форме) все известные ранее фундаментальные физические законы. Принцип относительности, или, точнее, принцип ковариантности, и должен составлять тот весьма общий фундамент, на котором можно возвести все здание физической теории. Новой является не физическая теория в целом, а лишь ее приспособление к принципу относительности. Автор, по-видимому, полностью разделяет эту точку зрения, ибо он неоднократно подчеркивает существенное сходство между релятивистским мышлением и законами и общими тенденциями, выявившимися в науке ранее¹.

С другой стороны, можно считать, что сам принцип относительности экспериментально обоснован гораздо лучше, чем наука в ее современном виде, возникшая в результате приведения прежней науки в соответствие с принципом относительности. В настоящее время нельзя сказать с уверенностью, но можно опасаться, что понятий «метрического поля» и «электромагнитного поля» окажется недостаточно для интерпретации некоторых фактов, вытекающих из теории квантов. Но идея о том, что может быть опровергнут сам принцип относительности, заслуживает серьезного рассмотрения.

Мейерсон считает важным, что все интеллектуальное сооружение физики в процессе своего приспособления к принципу относительности приобретает в известной мере характер строго логической дедуктивной системы. Мейерсон не порицает дедуктивный и весьма абстрактный характер системы, а усматривает в нем лишь проявление общей тенденции истории развития точных наук: в самом деле, можно констатировать, что удобство аксиом и методов (в психологическом смысле) все чаще и чаще приносится в жертву единству всей системы, понимаемому в чисто логическом смысле.

Этот дедуктивный и конструктивный характер позволяет Мейерсону провести чрезвычайно остроумное сравнение теории относительности с системами Гегеля и Декарта. Успех этих трех теорий у их современников он приписывает строгости их логического построения и их дедуктивному характеру. Человеческий разум не занимается установлением связей, он хочет их *понять*, и превосходство теории относительности над двумя другими концепциями, по Мейерсону, состоит в том, что теория относительности дает точное количественное описание фактов и позволяет охватить множество экспериментальных результатов. Он усматривает общее между теорией относительности и теорией Декарта в том, что в обеих теориях происходит ассимиляция физических идей идеями пространственными, т. е. геометрическими. Правда, в теории относительности эту идею удается полностью реализовать лишь для электромагнитного поля в духе теорий Вейля и Эддингтона.

¹ La déduction relativiste, p. IX, 61 и 227, в особенности 247 и 251.

Некоторые утверждения Мейерсона можно понять неправильно, и тут необходима осторожность. Это в особенности относится к следующему его высказыванию: «Теория относительности сводит физику к геометрии». Совершенно верно, что в теории относительности (метрическая) геометрия, если ее рассматривать как науку, в корне отличающуюся от дисциплин, относящихся к разряду «физических», теряет свое независимое существование. Там же ² Мейерсон приводит отрывок из книги Эддингтона, где ставится вопрос о «геометрической теории» Вселенной. Но и до теории относительности было бы необоснованным считать геометрию в отличие от физики наукой *априорной*. Тот, кто встал бы на подобную точку зрения, упустил бы из виду, что геометрия является наукой о возможных перемещениях твердых тел. Согласно же общей теории относительности, метрический тензор вместе с движением свободных тел при отсутствии электромагнитных явлений определяется с помощью масштабных линеек и часов.

Этот тензор называется «геометрическим», ибо аналогичная ему математическая величина впервые была введена в науку, известной под названием «геометрия». Тем не менее, отсюда еще не следует, что во всякую науку, в которой играет роль какая-нибудь похожая величина, нужно называть «геометрией», даже если этим хотят подчеркнуть сходство понятий этой науки с привычными геометрическими представлениями. По-видимому, Максвелл и Герц руководствовались именно такой аргументацией, когда называли «геометрическими» уравнения электромагнитной теории в вакууме, ибо в эти уравнения входило геометрическое понятие вектора.

Кроме того, сущность теорий электромагнитного поля Вейля и Эддингтона состоит вовсе не в сведении этого поля к геометрии, а в указании возможного пути, позволяющего с единой точки зрения рассматривать гравитацию и электромагнетизм, хотя в теорию эти два поля входят логически независимо друг от друга. Итак, я считаю, что термин «геометрический», если понимать его так, как указывалось выше, лишен всякого смысла. Напротив, особо подчеркнутая Мейерсоном аналогия между релятивистской физикой и геометрией имеет глубокий смысл. Рассматривая с философской точки зрения революцию, совершенную новыми теориями, можно обратить внимание на одну тенденцию, наметившуюся еще раньше в процессе научного прогресса, но ставшую особенно отчетливой именно теперь. Это — тенденция к максимальному упрощению «различных» теорий и, если можно так выразиться, их растворению в понятии *пространства*. Мейерсон показал, что полное такое сведение, бывшее заветной мечтой Декарта, в действительности невозможно даже в самой теории относительности. Поэтому он с полным основанием указывает на ошибку, часто встречаю-

² La Dédution relativiste, p. 137.

щуюся при изложении теории относительности, которую совершают, низводя время на один уровень с пространством (*spatialisation du temps*). Хотя в основе времени и пространства лежит один и тот же *континуум*, они не равноправны. Свойства элемента пространственного расстояния и свойства элементарного интервала времени различны. Это различие проявляется и в формуле, определяющей квадрат мирового интервала между двумя бесконечно близкими событиями.

Однако подмеченная Мейерсоном тенденция, глубоко коренящаяся в сознании физиков, тем не менее реальна и сильна и отнюдь недвусмысленно проявляется в извращениях теории относительности, встречающихся в работах вульгаризаторов науки и даже самих ученых.

Я считаю, что книга Мейерсона является лучшей из книг по теории относительности, написанных с позиций теории познания. Остается лишь пожалеть о том, что автор полностью игнорировал работы Шлика и Рейхенбаха, которые мог бы, безусловно, оценить по заслугам.

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПОНЯТИЯ ФИЗИКИ И ИЗМЕНЕНИЯ, КОТОРЫЕ ПРОИЗОШЛИ В НИХ ЗА ПОСЛЕДНЕЕ ВРЕМЯ *

Несмотря на то, что наш мир как объект чувственного восприятия раскрывает перед нами лишь неясную взаимосвязь между явлениями, а наши действия кажутся нам свободными, т. е. не подчиняющимися никакому объективному закону, мы все же ощущаем потребность в интерпретации событий как необходимых и полностью подчиняющихся закону (причинности). Эта потребность; несомненно, является продуктом интеллектуального опыта, приобретенного в процессе развития культуры. С другой стороны, первобытный человек пытается отнести все происходящее за счет проявления воли невидимых духов по аналогии с актами своей воли. Поэтому постулат о строго причинной интерпретации природы коренится не в человеческой душе. Он является результатом продолжительного приспособления человеческого интеллекта.

Уверенность в том, что явления природы с необходимостью следуют закону причинности, в конечном счете основывается лишь на скромных успехах, достигнутых в результате попыток человеческого разума установить взаимосвязь между явлениями природы. Следовательно, эта уверенность не имеет абсолютного характера. И поныне многие склонны не соглашаться с постулатом о невозможности нарушить законы природы, какие бы они ни были. Нам нелегко считать проявления нашей воли зависящими от строго последовательной цепи событий и отказаться от убеждения, что наши поступки ничем не связаны. Для гордого человека изречение: «Мы и в самом деле можем поступать, как хотим, но нас заставляют хотеть то, что мы должны делать» является горькой пилюлей. И все же кто стал бы отрицать, что за последние столетия люди не только проглотили эту пилюлю, но и полностью ее усвоили? Несмотря на нашу убежденность в том, что практическая жизнь без иллюзии свободы воли невозможна, учению о неизбежном проявлении причинности не грозит сколько-

* *Fundamental Concepts of Physics and their Most Recent Changes*. St. Louis Post-Dispatch, 9 December 1928, Supplement.

нибудь серьезная опасность со стороны философской психологии. В частности, сведения о воздействии на психические реакции внутренней секреции, гипноза, о влиянии некоторых ядов заставили полностью умолкнуть оппозицию, пытавшуюся нападать на принцип причинности с этой стороны.

В настоящее время уверенности в постоянно действующей причинности угрожают именно те, кому она освещала путь и чьим главным и полновластным руководителем она была — представители физики. Чтобы осознать эту тенденцию, заслуживающую самого пристального внимания со стороны всех мыслящих людей, мы должны рассмотреть «с высоты птичьего полета» картину развития фундаментальных понятий физики до самого последнего времени.

Наука стремится понять связи между данными чувственного восприятия, т. е. создать такую логическую конструкцию из понятий, в которую такие связи будут входить в качестве логических следствий. Выбор понятий и правил построения всей конструкции свободен. Обоснованием выбора являются лишь результаты. Это означает, что выбор должен приводить к правильным соотношениям между данными чувственного опыта.

В начале своего развития физика заимствовала понятия числа, пространства, времени, материального тела у донаучного мышления и пыталась обойтись этими идеями. Прежде всего возникло учение о пространственных отношениях между телами безотносительно к изменениям во времени — эвклидова геометрия. В создании этой первой логической системы понятий, трактующих поведение каких-то природных объектов, состоит бессмертная заслуга древних греков. За эвклидовой геометрией последовало учение об изменении пространственных положений тел во времени — классическая механика, начала которой заложили Галилей и Ньютон. В основу ее была положена геометрия Эвклида. Эта теория была создана в первую очередь для того, чтобы объяснить движения небесных тел. Основные ее положения сводятся к следующему. Материальная точка движется равномерно и прямолинейно до тех пор, пока она находится на достаточном расстоянии от всех остальных материальных точек. Если же другие тела находятся достаточно близко, то материальная точка движется с ускорением, полностью определяемым ее положением относительно остальных масс. Определение величины этого ускорения связано со специальными гипотезами относительно природы сил взаимодействия. Одной из таких гипотез была гипотеза о всемирном тяготении. Ее полная математическая формулировка была дана Ньютоном.

Такая строго причинная схема была расширена и позволила объяснить не только механические явления в узком смысле этого слова. Другие явления, происходящие в телах и не относящиеся непосредственно к числу

механических явлений, удалось интерпретировать как движение и равновесие более мелких кирпичиков вещества. Так были объяснены изменения агрегатного состояния и температуры и химические превращения. Попытка свести все процессы к механике с необходимостью привела к атомной теории. Казалось, что все явления можно считать строго причинными и относящимися к механике, если только надлежащим образом расширить гипотезу о характере действующих сил.

Вся эта программа, освещенная еще великими материалистами древней Греции, сводится к утверждению, что реальность состоит только из материальных точек, не испытывающих никаких других изменений, кроме движения, происходящего по законам Ньютона.

Руководствуясь этой программой, удалось получить замечательные результаты. Небесная механика, техническая механика, теория теплоты, теория кристаллов и даже химия пышно расцвели на этой основе, не встретив на своем пути в принципе никаких особых трудностей. На первый взгляд казалось, что теории электромагнетизма и света не противоречат этой схеме и укладываются в нее. На сегодня существование неизменяемых элементарных тел (электронов, протонов) является установленным фактом.

И все же в настоящее время мы определенно знаем, что фундаментальные понятия и гипотезы Ньютона представляют собой лишь некоторое приближение к истине. Впервые необходимость в создании фундаментальных новых понятий возникла при рассмотрении законов электричества и света. Когда в первой половине девятнадцатого века стал очевиден колебательный характер света, его по-прежнему связывали с движением гипотетического тела — светоносного эфира. Но чем точнее становились наши знания свойств света, тем труднее было приписывать светоносному эфиру такие механические свойства, которые позволили бы объяснить их непротиворечивым образом. Согласно сделанному предположению, эфир был разновидностью материальной субстанции, имеющей мало общего с «осязаемой и весомой» материей остальной физики. В результате возведенное Ньютоном величественное здание утратило свое первоначальное структурное единство.

Вскоре после того, как исследования Фарадея и Максвелла вскрыли тесную связь между электричеством и светом, стало ясно, что одно фундаментальное понятие все же не может выстоять против фактов. Таким понятием явилось понятие сил, действующих непосредственно на расстоянии (мгновенно распространяющихся). Его место заняло фундаментально новое понятие: понятие «поля». Теперь уже одно электрически заряженное тело не могло непосредственно воздействовать на другое заряженное тело. Оно было окружено полем, изменения которого во времени и пространстве подчинялись своим особым законам. Это поле могло даже отрываться от тел. Говоря о поле, имели в виду энергетическое состояние про-

странства, математически описываемое непрерывными функциями и столь же реальное физически, как и элементарные частицы материи. Вскоре оказалось, что это фундаментальное понятие должно стать сверхструктурой в том смысле, что электроны и протоны должны рассматриваться лишь как существенно различные точки поля. Попытка вывести механику из законов электромагнитного поля привела к созданию электромагнитной механики.

Тем самым были заложены основы физики, принципиально отличающейся от физики Ньютона и в то же время значительно превосходившей ее логической непротиворечивостью. В соответствии с этим теория относительности была не более, чем следующим этапом развития теории поля. Теория относительности показала, что одновременность событий не имеет абсолютного характера и что геометрия Эвклида выполняется неточно. Законы взаимного расположения тел оказались свойством гравитационного поля, чьи закономерности были открыты.

Таким образом, теория поля поколебала фундаментальные понятия времени, пространства и материи. Однако одна опора здания оказалась незыблемой: гипотеза причинности. Законы природы таковы, что из состояния мира в некоторый момент времени однозначно следуют все другие его состояния как в прошлом, так и в будущем.

Однако в настоящее время возникли серьезные сомнения относительно понимаемого таким образом принципа причинности. Эти сомнения обусловлены не погоней ученых за новыми сенсациями. Толчком, побудившим к ним, явились факты, кажущиеся противоречащими теории строгой причинности. По-видимому, поле, рассматриваемое как физическая реальность в последней инстанции, не позволяет должным образом объяснить отдельные факты, связанные с излучением и строением атома. Именно здесь мы сталкиваемся с проблемами такой сложности, что для преодоления их требуется чудовищное напряжение интеллектуальной мощи современного поколения физиков.

Всякий знает, что с помощью ультрафиолетового света, а тем более с помощью рентгеновых лучей, можно вызывать элементарные химические процессы гораздо большей энергии, чем с помощью красного или желтого света. Однако важна не интенсивность излучения, а лишь его цвет, или частота. Экспериментально доказано, что энергия, получаемая поглощающим телом за элементарный акт поглощения, зависит только от частоты падающего излучения. Теория поля не могла объяснить этот факт. Согласно этой теории, локальная концентрация энергии должна бы зависеть только от интенсивности излучения, но отнюдь не от его частоты. На основе теории поля нельзя понять, почему излучение данного цвета должно всегда излучаться или поглощаться только определенными порциями (по энергии).

Нечто аналогичное проявляется во вращении электронов вокруг атомного ядра (примеры явлений, очень часто встречающихся в природе). Эти явления отвечают вполне определенным значениям энергии, что абсолютно непонятно, если подходить с точки зрения принятой до сих пор механической теории. Доказано, что строение материи связано с наличием таких состояний с дискретными значениями энергии. Уже созданы теории, позволяющие с высокой точностью рассчитать такие структуры и условия, при которых они претерпевают изменения. Но эти теории характеризуются тем, что жертвуют строгой причинностью; они являются существенно статистическими теориями.

Далее следует объяснить, что мы понимаем под статистической теорией. Статистические законы играли важную роль и в старой физике. Если в сосуде имеется находящийся под очень низким давлением газ, который через очень тонкое отверстие сообщается с вакуумом, то время от времени (например, каждые 10 секунд) молекула газа будет из сосуда переходить во внешнее пространство. Поэтому вероятность того, что молекула покинет сосуд в течение данной конкретной секунды, равна $1/10$. Это — статистическое утверждение. Но до последнего времени никто не сомневался, что в основе закономерностей такого рода лежат точные законы соударений молекул газа между собой и стенками сосуда. Чтобы точно предсказать, когда молекула покинет полный сосуд, мы должны были бы в принципе знать все эти законы и уметь математически описывать обстоятельства движения всех молекул в некоторый данный момент времени. В этом случае статистический закон был бы всего лишь результатом комбинации строго причинного закона с неполным знанием или неточной оценкой истинного начального состояния рассматриваемой системы.

Согласно современным теориям, основы законов природы не являются причинными, а, напротив, несут существенно статистический характер. Например, если у меня имеется несколько атомов в состоянии *A*, то они могут самопроизвольно перейти в состояние *B* с испусканием света. Существует определенная вероятность того, что данный атом в данный момент времени действительно совершит такой переход. Даже если бы в этих теориях состояния атома описывались сосколь угодно высокой точностью (в чем я сомневаюсь), я все же не смог бы, опираясь на законы природы, заранее предсказать, когда тот или иной конкретный атом действительно перейдет в состояние *B*. Это означает «принципиальный» отказ от причинности. Утверждается, что все законы природы «в принципе» статистичны, и только несовершенство наших наблюдений ввело нас в заблуждение и породило уверенность в строгой причинности.

Достаточно интересно само по себе уже то обстоятельство, что рациональная наука может существовать и после отказа от строгой причинности. Более того, нельзя отрицать, что отказ привел к важным достижениям в

области теоретической физики. Однако я должен признаться, что мой научный инстинкт восстает против подобного отказа от строгой причинности. Но все же приходится признать, что сегодня мы далеки от понимания требований строгой причинности, которые казались такими самоочевидными нашим предшественникам.

Не могу не упомянуть об одном из последних достижений, имеющем решающее значение и непреходящий характер. Свойства излучения, о которых уже говорилось, привели к сравнению излучения с газом, молекулы которого движутся в направлении лучей света и несут с собой энергию, зависящую только от цвета излучения, т. е. от частоты. Аналогично, возникшая недавно волновая теория материи сопоставляет волновое поле с движущимися частицами. Эта аналогия приводит к потоку частиц, свойства которых отвечают свойствам, наблюдаемым в явлении интерференции световых и рентгеновых лучей. Эта точка зрения получила экспериментальное подтверждение. Было показано, что пучок катодных лучей, т. е. совокупность движущихся заряженных частиц, отклоняется после прохождения молекулярной решетки кристалла так же, как и рентгеновы лучи, или как световые лучи, отклоняются после прохождения дифракционной решетки. Здесь мы встречаемся с новым свойством материи, которое не может объяснить ни одна из строго причинных теорий, бывших в моде до самого последнего времени.

РЕЧЬ НА ЮБИЛЕЕ ПРОФЕССОРА ПЛАНКА *

Какими словами выразить те чувства, которые волнуют меня в этот момент, когда я стою перед заслуженным ученым и другом, с которым на протяжении многих лет меня связывало столько общего? Прошло двадцать девять лет с того времени, когда я, в ту пору еще юноша, восторженно воспринял Ваш гениальный вывод формулы излучения, впервые позволивший точно определить размеры атома и совершенно по-новому применить статистический метод Больцмана. Уже тогда, уважаемый профессор, Вы понимали, что за введенной Вами новой постоянной h должно скрываться некоторое фундаментальное структурное свойство всех процессов, происходящих в природе. В выяснении этого свойства и должна состоять важнейшая цель будущих десятилетий. С принципиальной точки зрения реализация этой программы составляет содержание важнейшего направления развития новой теоретической физики.

Что необычайного я нашел в Вашей постановке задачи? С наиболее общей формальной точки зрения я пришел к более глубокому пониманию взаимосвязи явлений, которое после Ваших основополагающих работ приносит физикам все новые и новые плоды. Если же говорить конкретно, то мои настойчивые усилия группировались вокруг двух идей. То, что происходит в природе, по-видимому, настолько детерминировано, что глубокие закономерности связывают не только протекание процесса во времени, но и его начальное состояние. Я надеялся, что эту идею удастся реализовать, если я сумею найти переопределенную систему дифференциальных уравнений. При этом указывать путь должны общий принцип относительности и гипотеза о единой структуре физического пространства, т. е. поля. Эта цель и поныне не достигнута, и вряд ли я смогу найти хотя бы одного коллегу, который бы разделял мою надежду на то, что на этом пути удастся прийти к более глубокому пониманию действительности. То, что мне

* *Ansprache von Prof. Einstein an Prof. Planck. Forschungen und Fortschritte, 1929, 5. Jahrgang, № 21, 248—249.*

удалось сделать в области квантовой теории, представляет собой лишь случайные удачи или кусочки, которые удалось отбить при безуспешных попытках решить проблему в целом. Мне неловко получать здесь столь высокую награду.

Хотя я глубоко убежден в том, что мы не остановимся на уровне субпричинности, а придем в конце концов к сверхпричинности в том смысле, о котором говорилось выше, я восхищаюсь работами физиков молодого поколения, объединенными под названием квантовая механика, и верю в правильность этой теории. Я только считаю, что ограничения, приводящие к *статистическому* характеру ее законов, должны быть со временем устранимы.

Несколько слов о Вас, дорогой и уважаемый господин Планк. Я очень рад предоставившейся мне возможности высказать Вам, человеку необыкновенному, свою глубокую благодарность за ту моральную поддержку, которую Вы мне оказывали. Вы были одним из самых деятельных зачинателей современной физики, Вы первый выступили в защиту теории относительности. Вы в значительной степени способствовали тому, что я получил признание и смог работать в условиях, которые редко выпадают на чью-либо долю. По всем вопросам, по которым нам с Вами приходилось сотрудничать, между нами царило единство и согласие. Часто мне случалось восхищаться той объективностью, с которой Вы всегда решали все вопросы, независимо от мотивов личного или политического характера.

Ваши идеи будут оказывать свое воздействие, куда будет существовать физика. Я надеюсь, что последующие поколения ничуть не меньше будут ценить и тот пример, который Вы им подаете всей своей жизнью.

С этими мыслями и чувствами, преисполненный радости и смущения, я принимаю из Ваших рук медаль Планка.

По случаю 50-летия защиты докторской диссертации профессором Планком Немецкое физическое общество в Берлине и Немецкое общество технической физики устроили 28 июня 1929 г. торжественное заседание. На этом заседании председатель Немецкого физического общества проф. Г. Конен-Бонн вручил профессору Планку первую медаль Планка, учрежденную в честь семидесятилетия Планка. Вторая медаль Планка была вручена профессору А. Эйнштейну самим Планком.

ЗАМЕЧАНИЕ К ПЕРЕВОДУ РЕЧИ АРАГО „ПАМЯТИ ТОМАСА ЮНГА“*

Издателям журнала пришла в голову счастливая мысль почтить память этого поистине гениального человека опубликованием замечательной речи Араго. Сам Араго был выдающимся мыслителем, тонким, способным уловить малейшие оттенки психологии и к тому же современником Юнга, сумевшим донести до нас не только результаты трудов последнего, но и все обаяние и жизнерадостность его личности.

Араго подробно остановился лишь на одном из двух великих достижений Юнга: объяснении интерференции и дифракции света, и ничего не сказал о том, как Юнг объяснил богатство и многообразие нашего цветоощущения.

Причина этого проста. Юнг принадлежал к числу тех редких, наделенных необычайной фантазией мыслителей, чье упорство в разработке своих идей или, более кратко, усидчивость, не соответствуют богатству их оригинальных идей. Потребовались научные дарования первого ранга — Френель и Гельмгольц, — чтобы разработать обе эти великие идеи до такой степени, когда научный мир смог воспринять их. В то время, когда Араго писал свою речь, Френель уже сделал свое дело, но Гельмгольца нужно было еще ждать несколько десятилетий. Именно поэтому Араго полностью воздал должное лишь первой из великих идей Юнга, но не второй. То, что было в его силах, Араго сделал с любовью и изяществом.

Как дитя нашего поколения, я не без некоторого злорадства отмечаю при чтении речи Араго, что уже в те времена люди науки отнюдь не были свободны от национальной ограниченности, и поэтому в наше время мы не должны чувствовать себя подобно изгнанным из рая. Все же я надеюсь, что это обстоятельство не сможет нас полностью утешить.

Русский перевод речи Араго помещен в книге Ф. Араго «Биографии знаменитых астрономов, физиков и геометров», т. 2, стр. 31. СПб., 1860 г. В конце своего замечания Эйпштейн имеет в виду травлю, которой подвергся Юнг в связи с нападками на «Морской календарь» в английском парламенте (Юнг был редактором этого издания).

* Naturwiss., 1929, 17. Jahrgang, H. 20, 363.

ОЦЕНКА РАБОТ СИМОНА НЬЮКОМА*

Берлин 15.7.1926

Дорогая миссис Уитни,

Ссылаясь на нашу встречу в помещении Лиги наций, я постараюсь привести здесь те данные, которые Вас интересовали.

Дело жизни Вашего отца имеет огромное значение для астрономии. Его можно характеризовать следующим образом. Кеплер эмпирически открыл законы, которые управляют движением планеты вокруг Солнца в отсутствие других планет. Из них Ньютон вывел носящие его имя общие законы движения, а также закон тяготения. Законы Ньютона утверждают в совершенно общем виде, каким должно быть движение масс, если на них действуют только силы взаимного тяготения. Если имеется более двух масс, то расчеты движения за длительный период времени связаны с большими трудностями. Но в нашей солнечной системе эти взаимосвязи сказываются гораздо меньше, так как одно из тел, Солнце, значительно преобладает по массе. В случае одной планеты вычисления приводят к результатам, мало отличающимся от тех, которые получились бы, если бы существовали только эта планета и Солнце. Если бы не это обстоятельство, Кеплер не смог бы открыть свои законы, и трудно себе представить, по какому пути пошла бы астрономия.

Оставалась, однако, задача определения влияния, оказываемого на каждую отдельную планету всеми остальными планетами. Это астрономическая задача о «возмущениях»; за последние 100 лет она привлекла внимание наиболее выдающихся математиков и астрономов. Ваш отец был последним из великих ученых, которые, имея в виду эту задачу, весьма тщательно вычислили движения в солнечной системе. Эта задача настолько грандиозна, что лишь немногие могли самостоятельно и достаточно критически работать над ее решением.

* *Appreciation of Simon Newcomb*. Sci., 1929, 69, 249. (Письмо дочери С. Ньюкома.—
Ред).

Эта работа имеет большое значение для понимания законов природы, поскольку только таким путем можно установить достоверность законов Ньютона. Сравнение вычислений с фактическими данными показывает, что теория исключительно точно описывает эмпирические данные. Небольшое, выходящее за пределы ошибок измерений отклонение от вычисленной орбиты было обнаружено только для ближайшей к Солнцу планеты, Меркурия. В самом деле, наблюдения обнаружили медленное вращение большой оси орбиты в ее плоскости в направлении движения Меркурия. Это вращение нельзя объяснить за счет возмущений, вычисленных на основе законов Ньютона. Скорость этого вращения составляет примерно 40 угловых секунд за столетие, т. е. она настолько незначительна, что потребовалось бы не менее 30 000 лет для совершения полного оборота орбитальной оси. До сих пор все попытки объяснить удовлетворительно это отклонение в соответствии с теорией Ньютона были в основном безуспешными.

Затем, каких-нибудь десять лет назад, теоретические исследования в теории относительности показали, что законы Ньютона нельзя считать строго верными; они верны лишь в некотором приближении. Точные законы, полученные умозрительными методами, доказывают, что слабое вращение большой оси орбиты происходит при движении любой планеты, независимо от возмущений, вызванных другими планетами. Для всех планет, кроме Меркурия, это вращение слишком незначительно, чтобы его наблюдать. Что касается Меркурия, то расчет дал именно те сорок секунд за столетие, которые до сих пор вызывали так много недоумений.

Таким образом, теория относительности завершила работу по вычислению возмущений и привела к полному согласию между теорией и опытом.

С сердечным приветом,

Ваш А. Эйнштейн

30 августа 1935 г. на торжественном митинге, посвященном открытию памятника Ньюкому в Уоллесе (США), было оглашено письмо Эйнштейна, в котором он подчеркивал, что работам Ньюкома мы обязаны тем, что «очень малые отклонения от ньютоновских законов механики были обнаружены с неоспоримой точностью в движениях небесных тел». Это событие было описано в *New York Times* от 31 августа 1935 г.

**БЕСЕДА А. ЭЙНШТЕЙНА
НА СПЕЦИАЛЬНОЙ СЕССИИ
НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК
В БУЭНОС-АЙРЕСЕ 16 АПРЕЛЯ 1925 Г.***

I. Вопросы д-ра Р. Г. Лойярте

1. *Можно ли получить индуцированную радиоактивность бомбардировкой вещества световыми квантами?*

2. *Надо ли понимать принцип эквивалентности между энергией и массой в том смысле, что масса может полностью превратиться в энергию? (Мнение автора отрицательно.)*

Эйнштейн. Д-р Лойярте уже говорил со мной по этому вопросу. Прежде всего можно сказать, что, возможно, существует искусственная радиоактивность вещества, возникающая под действием световых квантов; трудность обнаружения такого явления в случае его существования состоит в том, что эффект, который подлежит наблюдению, очень мал. Подтверждение этого эффекта затруднительно, однако возможно.

Лойярте. Я хочу в двух словах рассказать д-ру Эйнштейну о своих идеях. Имеется принцип эквивалентности механической и электромагнитной энергии. Например, если электрон с массой m , обладающий скоростью v , имеет кинетическую энергию $(1/2)mv^2$, то при соударении она исчезает и превращается в электромагнитную энергию $h\nu$. Поэтому волна с частотой ν может вырвать электроны, которые будут иметь скорость v в соответствии с тем же соотношением. В связи с этим, я утверждаю следующее: о процессах радиоактивного распада известно, что испускание β -частиц всегда сопровождается образованием γ -лучей; таким образом, если вещество бомбардируется рентгеновыми лучами достаточно долго, чтобы приблизиться к ядру, из него могут вырваться α -частицы. Эта идея и занимает меня.

* *Reception del doctor Alberto Einstein en la sesion especial de la Akademia el dia 16 de abril de 1925. Anales Sociedad Cientifica Argentina, 1929, 107, 337—347.*

Эйнштейн. Существует возможность получить эффект такой.

Лойярте. Хочу сделать разъяснения относительно второго вопроса. Я не понимаю достаточно ясно суть дела, т. е. тот смысл, который следует придавать этому вопросу. Поэтому я могу только спрашивать.

Эйнштейн. Действительно, полное превращение массы в энергию не является непосредственным следствием этого принципа, но я склонен полагать, что вся масса является энергией и, таким образом, в принципе вся масса может превратиться в энергию.

Мы еще не знаем достоверно законы природы и поэтому не имеем права сказать, что элементарный электрический заряд, будь он положительным или отрицательным, может исчезнуть. По-видимому, электрический заряд неуничтожим. Но вполне возможно, что существуют какие-то неизвестные нам процессы, которые бы позволили нам прийти к этому результату, согласно которому положительный электрический заряд мог бы превратиться в излучение; я не вижу в этом ничего невозможного. По-видимому, можно менять массу тела, т. е. превращать ее в энергию; но, естественно, мы еще очень мало знаем об электрических процессах, чтобы можно было сказать, может происходить такое превращение или нет. Наши знания в этой области настолько скудны, что мы не знаем, как может существовать протон, не разлетаясь на части под действием сил отталкивания между ними.

Лойярте. Если бы вся материя была электричеством, т. е. положительными и отрицательными зарядами, я думаю, нетрудно было бы понять это превращение. Однако опыт показывает, что в то время как электрон, т. е. отрицательный заряд, представляет собой чистое электричество, нельзя сказать то же самое о положительном заряде. Мне представляется, что положительные заряды связаны с веществом.

Эйнштейн. Я не думаю, что можно так говорить. Согласно закону атомных чисел, не существует ничего, кроме положительных зарядов и электронов, и весьма возможно, что в действительности так оно и есть. Необходимо считать, что элементарный положительный электрический заряд будет являться элементарным в том же смысле, что и заряд электрона. Идея о существовании материи, связанной с положительным электричеством, нелогична. Имеются только положительные и отрицательные заряды, и в совокупности эти элементарные заряды составляют материю.

Лойярте. Я думаю, что, по мнению физиков европейских школ, восходящему к Зоммерфельду, имеется существенное различие между положительными и отрицательными зарядами, т. е. следует предположить, что положительные заряды содержат нечто иное, отличное от отрицательных зарядов.

Эйнштейн. Это — только способ выражения.

II. Вопросы д-ра Х. Дамяновича

1. *Может ли изменяться тонкая структура спектральных линий под влиянием поля «химических сил»?*

2. *Позволят ли эти исследования и принципы химической динамики установить характеристику «поля химических сил», динамическое сравнение систем и значений их «сопротивлений»? Представляет ли интерес учет «времени действия» «химической силы»?*

Эйнштейн. Если мы имеем только одну молекулу или атом, то нельзя считать, что существует поле химических сил.

Дамянович. Я думаю, что каждый атом или молекула в процессе, сходном с процессом электрической индукции, создает поле химических сил и что имеются изменения в потенциальной энергии каждого атома или молекулы.

Эйнштейн. Если имеются два атома или молекулы, I и II, мы можем спросить себя, оказывает ли II влияние на излучение I. Я не знаю, создает ли взаимное влияние двух атомов или молекул поле химических сил, но если мы рассматриваем только один атом, то поля химических сил не существует.

Дамянович. Считаете вы, д-р Эйнштейн, что вокруг каждого атома или молекулы существует сфера химической активности?

Эйнштейн. Я не буду рассматривать отдельные молекулы. В случае двух атомов или молекул возникло бы влияние, которое зависело бы от относительного положения обоих атомов или молекул, т. е. смещение от присутствия одной молекулы по соседству с другой; ясно, что это влияние сильно зависело бы от относительного положения обоих атомов или молекул. Тогда в структуре спектральных линий, возможно, имелось бы изменение, которое некоторым образом зависело бы от комбинаций атомов. Проводились ли на этот счет эксперименты при больших давлениях?

Дамянович. Были проведены эксперименты при давлении 40 миллиметров со смесью H и Hg. В этом случае, согласно Дехардину, потенциал неупругого соударения достигает 20 в.

Эйнштейн. И потенциал ионизации He изменяется в присутствии Hg?

Дамянович. Некоторые линии полностью исчезают при давлении 0,003. Можно думать, что имеется влияние активного He, вызванное молекулами, обязанными своим существованием компланарным и «скрещивающимся» атомам.

Эйнштейн. Я не понимаю, как могут исчезнуть некоторые линии без исчезновения всего спектра: мне кажется невозможным, чтобы в той или иной серии исчезали только некоторые линии.

Современные теории не могут объяснить эти вещи. Я не думаю, что можно обнаружить тонкую структуру, поскольку, надо думать, возможно существование класса очень неустойчивых молекул, и поскольку влияние другого атома или молекулы является очень слабым.

Дамянович. Нельзя ли считать, что в случае смеси Cl и He , кроме собственных линий каждого элемента, можно встретить комбинированные линии, вызванные химическим возбуждением атомов или молекул одного элемента вследствие присутствия атомов или молекул другого элемента до образования химического соединения, т. е. линий, возникающих от взаимного наличия одного и другого элемента?

Эйнштейн. Я весьма мало в это верю, но и не могу утверждать, что это невозможно.

Дамянович. Если один атом оказывает влияние на другой, то может ли измениться эксцентриситет эллиптических орбит под действием поля химических сил и может ли, например, в тонкой структуре линий проявляться влияние хлора?

Эйнштейн. Только в том случае, если можно наблюдать уширение.

Дамянович. А как быть тогда с дублетным расщеплением у водорода, подтверждающим теорию относительности?

Эйнштейн. Это явление очень трудно наблюдать в гелии.

Дамянович. Может ли диссоциация молекулы водорода вызвать появление поля химических сил, которое влияет на уширение линий?

Эйнштейн. Думаю, что можно наблюдать этот эффект, но не в чистом виде, что, мне кажется, наблюдать невозможно. Совершенно справедливо думать, что воздействие одного атома или молекулы может изменить положение какой-то спектральной линии, но поскольку все относительные изменения положения линии могут происходить как в одну, так и в другую стороны, мы, я повторяю, не можем наблюдать эффект в чистом виде.

Дамянович. Считаете ли вы, д-р Эйнштейн, что можно наблюдать спектроскопически, с большим разбросом, возможное соединение гелия с хлором?

Эйнштейн. Если такое соединение существует, то я считаю, расположение молекул будет таково, что эффект будет очень незначительным, чтобы его можно было наблюдать. Опыт можно поставить; я не утверждаю, что невозможно обнаружить эффект; но так как, в случае его существования, он будет весьма незначительным, наблюдать его крайне затруднительно.

Дамянович. Может ли служить зависимостью эмиссии электронов при химических реакциях от времени для сравнения химических систем и для оценки значений химических сопротивлений?

Эйнштейн. Вопрос не ясен. Вы сказали, что в химических реакциях соединяются атомы A и B и что происходит эмиссия электронов, но это

происходит не во всех химических реакциях: необходимо учитывать, что в этом классе явлений могут существовать вторичные процессы. Взаимодействия различных молекул могут быть настолько разнообразными и различными, что только в небольшом числе случаев можно констатировать факт эмиссии электронов. С другой стороны, я не считаю, что эмиссия электронов будет иметь место прямо в химических реакциях; мне кажется, что именно вторичные процессы являются решающими для эмиссии электронов.

Дамянович. Если мы имеем термодинамическое определение молекулы для сравнения химических сил и если мы рассматриваем химическое поле, окружающее атомы и молекулы, для сравнения двух различных систем, то нужно учитывать время действия сил. Таким образом, сравнивая эти результаты с результатами, полученными глобально для грамм-молекулы, и учитывая «химическое сопротивление», которое должно преодолеть обе рассматриваемые системы, в предположении, что они реагируют с различными скоростями, можно измерить время действия каждой из сил, действующих в системах. Эта концепция позволила бы дополнить динамическое сравнение химических систем.

Эйнштейн. В квантовой теории мы имеем:

$$E = h\nu \text{ и } \nu = \frac{E}{h},$$

где ν — величина, обратная времени. Если бы мы знали природу кванта, то могли бы понять физический смысл времени $t = h/E$. Я не знаю, применима ли эта концепция к химическим реакциям: может быть, применима, а может быть, и нет.

Дамянович. Но можно ли прийти к этим выводам?

Эйнштейн. Не существует возможности рассчитать энергию как функцию времени.

Дамянович. Если взять время как основу сравнения двух систем, то существует ли связь между энергией и временем? Предположим, что одна из систем испытывает сопротивление, а другая нет; для этих систем Нернст, говоря о сопротивлении, принимает выражение F/R , которое аналогично закону Ома.

Эйнштейн. Это выражение является определением R .

Дамянович. Сравнивая различные системы, мы могли бы прийти к R .

Эйнштейн. Естественно, если бы мы могли рассчитать или изменить R , это было бы большим достижением.

Дамянович. Есть ли эксперименты на этот счет?

Эйнштейн. Очень трудно, если невозможно, рассчитать R по данным о скорости реакций.

Дамьянович. Энергия $E = h\nu$, которая необходима для перехода молекулы из нейтрального состояния в активное, может послужить основой для расчетов.

Эйнштейн. С вашей манерой мышления очень трудно прийти к какому-либо определенному результату.

III. Вопросы д-ра Т. Иснарди

Можно ли вычислить с достаточной точностью напряженность поля тяготения, создаваемого движением гироскопа относительно неподвижного наблюдателя в инерциальной системе? Может ли этот расчет иметь экспериментальное подтверждение?

Эйнштейн. Напряженность поля вычислить можно.

Иснарди. Можно ли продемонстрировать это экспериментально?

Эйнштейн. К сожалению, это невозможно. Если бы гироскоп находился на полюсе и не участвовал бы во вращении Земли, то, согласно общей теории относительности, влияние двух полей вращения было бы настолько малым, что его нельзя было бы экспериментально подтвердить.

Иснарди. Думаю, что подобные эксперименты с отрицательным результатом уже ставились.

Эйнштейн. Безусловно. Результат является отрицательным.

IV. Вопросы д-ра Е. Лоэдель Палумбо

Пусть имеется пространственно-временной элемент в гравитационном поле, создаваемом точечной массой, находящейся в начале полярных координат r , D , φ :

$$ds^2 = \gamma dt^2 - r^2 (dD^2 + \sin^2 D d\varphi^2) - \frac{1}{\gamma} dr^2.$$

Положим здесь, что $D = \text{const}$ и $\varphi = \text{const}$. Можно ли тогда найти представление двумерной пространственно-временной поверхности в трехмерном евклидовом пространстве?

Это приводит к следующей системе уравнений в частных производных (проблема вложения неевклидова многообразия n измерений в другое, евклидово многообразие N измерений). Если предположить пространство евклидовым с ортогональными координатными осями x , y , z , то пространственный элемент будет иметь вид:

$$ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2,$$

где x , y , z — некоторые функции t и r :

$$x = X(t, r),$$

$$y = Y(t, r),$$

$$z = Z(t, r),$$

для которых имеем уравнения:

$$\left(\frac{\partial x}{\partial t}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial t}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial t}\right)^2 = \gamma = 1 - \frac{2km}{r},$$

$$\left(\frac{\partial x}{\partial r}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial r}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial r}\right)^2 = -\frac{1}{\gamma} = -\frac{1}{1 - \frac{2km}{r}},$$

$$\frac{\partial x}{\partial t} \frac{\partial x}{\partial r} + \frac{\partial y}{\partial t} \frac{\partial y}{\partial r} + \frac{\partial z}{\partial t} \frac{\partial z}{\partial r} = 0.$$

Лоэдель Палумбо. Известно ли решение этой системы дифференциальных уравнений?

Эйнштейн. Таких результатов пока нет. Исследование формы поверхности в пространстве-времени было бы очень интересно.

16 апреля 1925 г. Национальная академия точных наук в Буэнос-Айресе устроила прием в честь Эйнштейна, на котором ему был вручен диплом почетного академика. На этом приеме Эйнштейн ответил на вопросы. Запись беседы вместе с описанием истории приглашения была опубликована через четыре года в *Анналах Академии*.

ИОГАНН КЕПЛЕР *

В наше беспокойное и полное забот время, когда людские дела мало радуют, особенно приятно вспомнить о таком спокойном человеке, каким был великий Кеплер. Он жил в эпоху, когда еще не было уверенности в существовании некоторой общей закономерности для всех явлений природы. Какой глубокой была у него вера в такую закономерность, если, работая в одиночестве, никем не поддерживаемый и непонятый, он на протяжении многих десятков лет черпал в ней силы для трудного и кропотливого эмпирического исследования движения планет и математических законов этого движения! Достоинно сохранить память о нем — это значит возможно яснее представить себе поставленную им задачу и этапы ее решения.

Коперник раскрыл глаза выдающимся умам, показав, что наилучший способ получить ясное представление о кажущихся движениях планет на небе состоит в рассмотрении этого движения как обращения вокруг предполагаемого неподвижным Солнца. Если бы планеты двигались равномерно по окружности вокруг Солнца как центра, то было бы сравнительно легко определить, как эти движения должны выглядеть с Земли. Но так как при этом мы имеем дело с более сложными явлениями, то и задача была намного труднее. Вначале нужно было определить эти движения эмпирически, из наблюдений Тихо Браге. Только после этого можно было думать об установлении общих законов, которым подчиняются эти движения. Чтобы постигнуть, какой сложной была уже задача определения истинного вращения, нужно хорошо уяснить себе следующее обстоятельство: мы всегда наблюдаем не истинное положение планеты в определенный момент времени, а только направление, в котором она видна с Земли, совершающей, в свою очередь, неизвестного рода движение вокруг Солнца. Трудности казались почти непреодолимыми.

Кеплер должен был найти способ приведения в порядок этого хаоса. Он отдавал себе отчет в том, что прежде всего нужно попытаться определить движение самой Земли.

* *Johannes Kepler*. Frankfurter Zeitung (9 Nov. 1930), 3—4.

Это было бы просто невозможно сделать, если бы кроме Солнца, Земли и неподвижных звезд, не существовало других планет. Если бы последних не было, то из опытов можно было бы определить только годичное изменение направления Солнце — Земля (т. е. видимое движение Солнца относительно неподвижных звезд). Можно было бы установить, что это направление всегда лежит в неизменной по отношению к неподвижным звездам плоскости, по крайней мере с достигаемой тогда точностью наблюдений, производимых без применения телескопа. Можно было также определить, и каким образом прямая Солнце — Земля вращается вокруг Солнца. Было установлено, что угловая скорость этого движения в течение года меняется по определенному закону.

Но этого было недостаточно, так как оставался неизвестным закон годичного изменения расстояния Солнце — Земля. Только после установления этого закона можно было найти истинную орбиту Земли и способ ее прохождения.

Кеплер нашел замечательный выход из этой дилеммы. Наблюдая Солнце, можно было установить, что хотя видимый путь этого светила на фоне неподвижных звезд обладает в разные времена различной скоростью, угловая скорость этого движения в одни и те же моменты астрономического года всегда одинакова. Следовательно, скорость вращения линии Земля — Солнце имела одно и то же значение, и была направлена в одну и ту же область неба неподвижных звезд. Это вовсе не было очевидно априори. Но сторонники системы Коперника были почти убеждены, что такое утверждение остается справедливым и для орбит других планет.

Это облегчало задачу. Но как определить действительную форму орбиты Земли? Представим себе, что где-то в плоскости этой орбиты расположен ярко светящийся фонарь M , о котором известно, что он длительное время сохраняет свое положение неизменным. Такой фонарь может служить своеобразным триангуляционным пунктом, так как жители Земли могут его визировать в любое время года. Фонарь M расположен от Солнца дальше, чем Земля. С помощью такого фонаря можно определить орбиту Земли следующим способом.

Ежегодно в определенный момент времени Земля E находится точно на прямой, соединяющей Солнце S с фонарем M . Если в этот момент визировать с Земли направление на фонарь M , то получим направление SM (Солнце — фонарь). Допустим, что последнее отмечено на небесном своде. Представим себе теперь положение Земли в другой момент. Если и Солнце S , и фонарь M видны с Земли E , то в треугольнике SEM известен угол E . Раньше мы раз и навсегда определили направление прямой SM относительно неподвижных звезд. Теперь прямым наблюдением Солнца можно определить направление SE относительно неподвижных звезд. Таким образом, в треугольнике SEM становится известным и угол S . Следовательно,

взяв произвольную величину основания SM , можно строить на бумаге треугольник SEM по двум известным углам. Это построение можно повторить в течение года несколько раз. На рисунке всякий раз получим соответствующее определенной дате местоположение Земли E относительно раз и навсегда заданного базиса SM . Орбита определяется, таким образом, эмпирически; конечно, с точностью до произвольной абсолютной величины.

Но откуда — спросите вы — Кеплер взял фонарь M ? Тут ему помогли его гений и добрая воля природы. Существовала, например, планета Марс, для которой была известна продолжительность года, т. е. время обращения вокруг Солнца. В некоторый момент может оказаться, что Солнце, Земля и Марс располагаются точно на одной прямой. Такое положение Марса повторяется через один, два и т. д. марсианских года, потому что Марс описывает замкнутый путь. В эти известные моменты SM всегда одинаково, тогда как Земля находится каждый раз в другой точке своей орбиты. Следовательно, наблюдения Солнца и Марса в эти моменты дают способ определения истинной орбиты Земли, причем в эти моменты Марс играл роль указанного выше фонаря! Так Кеплер нашел истинную форму орбиты Земли и характер движения Земли по этой орбите. Все мы, кто родились позже: европейцы, немцы, а тем более швабы, должны ему поклоняться и воздавать хвалу.

Как только орбита Земли была эмпирически найдена, стало возможным определить истинное положение и величину отрезка SE . В принципе для Кеплера уже не представляло труда установить по наблюдениям планетных орбит и движения планет. Но это был все-таки колоссальный труд, особенно если учесть состояние математики того времени.

Оставалось решить вторую часть задачи: орбиты были известны из наблюдений, теперь надо было найти их законы по результатам опытов. Делать определенное допущение о виде орбитальных кривых, затем проверять его на огромном эмпирическом материале! Если результаты не совпадали, то выдумывать новую гипотезу и вновь проверять! После бесчисленных попыток Кеплер пришел к следующему выводу: орбита представляет собой эллипс, в одном из фокусов которого находится Солнце. Он нашел и закон, по которому меняется скорость в течение одного года: отрезок Солнце — планета в равные промежутки времени описывает равные площади. Наконец, он нашел, что квадраты времен обращения относятся как кубы осей эллипсов. На решение этих задач ушла вся жизнь Кеплера.

К восхищению перед этим замечательным человеком добавляется еще чувство восхищения и благоговения, но относящееся не к человеку, а к загадочной гармонии природы, которая нас породила. Еще в древности люди придумали кривые, которые соответствуют простейшим законам.

Наряду с прямой и окружностью среди них были эллипс и гипербола. Последние мы видим реализованными в орбитах небесных тел, во всяком случае с хорошим приближением.

Представляется, что человеческий разум должен свободно строить формы, прежде чем подтвердится их действительное существование. Замечательное произведение всей жизни Кеплера особенно ярко показывает, что познание не может расцвести из голой эмпирии. Такой расцвет возможен только из сравнения того, что придумано, с тем, что наблюдается.

Статья включена в сб. «Mein Weltbild». Английский перевод опубликован в сб. «Ideas and Opinions».

К оценке Кеплера Эйнштейн возвращался еще раз. Ср. статью 80.

ПРЕДИСЛОВИЕ К КНИГЕ АНТОНА РАЙЗЕРА „АЛЬБЕРТ ЭЙНШТЕЙН“ *

Автор этой книги принадлежит к числу тех, кто близко знает меня, мои стремления, мысли, убеждения, знает меня, так сказать, в комнатных туфлях ¹. Я прочитал ее главным образом для того, чтобы удовлетворить собственное любопытство. Мною руководило отнюдь не желание узнать, что я собой представляю или на кого я похож. Гораздо в большей степени меня интересовало, каким я предстаю в глазах другого человека.

Я обнаружил, что факты изложены в этой книге с должной точностью, а вся характеристика в целом настолько положительна, насколько можно ее дать человеку, который прилагает столь большие усилия, чтобы изменить себя, и которому это до такой степени не удается, как мне.

Но что, по всей видимости, не было замечено, так это то иррациональное, противоречивое, нелепое и, в общем, даже нездоровое, что неисчерпаемо изобретательная природа вложила в одного индивидуума, сделав это скорее всего ради собственного развлечения. Но выделить все подобные вещи можно только в горниле собственного разума.

Вернее сказать, это следовало бы сделать, ибо в противном случае, как можно было бы преодолеть отчуждение, существующее между людьми?

В качестве эпиграфа к книге Райзера взяты слова Эйнштейна:

Человеку, который открыл идею, позволяющую нам сделать еще один, пусть даже самый маленький шаг в глубь извечных тайн природы, гарантирована всеобщая благосклонность. Если же он к тому же ощущает самую горячую поддержку, любовь и признательность своих современников, то на его долю выпадает, по-видимому, больше счастья, чем человек может вынести.

* *Preface*. В кн.: *Anton Reiser*. Albert Einstein. New York, 1930.

¹ Намек на книгу секретаря А. Франса Ж.-Ж. Бруссона «Апатоль Франс в туфлях и халате». Русский перевод издан в 1925 г.— *Прим. ред.*

РЕЛИГИЯ И НАУКА *

Все, что сделано и придумано людьми, связано с удовлетворением потребностей и утолением боли. Это следует постоянно иметь в виду, когда хотят понять религиозные движения и их развитие. Чувства и желания лежат в основе всех человеческих стремлений и достижений, какими возвышенными они бы ни казались.

Какие же чувства и потребности привели людей к религиозным идеям и вере в самом широком смысле этого слова? Если мы хоть немного поразмыслим над этим, то вскоре поймем, что у колыбели религиозных идей и переживаний стоят самые различные чувства. У первобытных людей религиозные представления вызывает прежде всего страх, страх перед голодом, дикими зверями, болезнями, смертью. Так как на этой ступени бытия понимание причинных взаимосвязей обычно стоит на крайне низком уровне, человеческий разум создает для себя более или менее аналогичное существо, от воли и действий которого зависят страшные для него явления. После этого начинают думать о том, чтобы умиловить это существо. Для этого производят определенные действия и приносят жертвы, которые, согласно передаваемым из поколения в поколение верованиям, способствуют умиротворению этого существа, т. е. делают его более милостивым по отношению к человеку. В этом смысле я говорю о религии страха. Стабилизации этой религии, но не ее возникновению, в значительной степени способствует образование особой касты жрецов, берущих на себя роль посредников между людьми и теми существами, которых люди боятся, и основывающих на этом свою гегемонию. Часто вождь или правитель, чье положение определяется другими факторами, или же какой-нибудь привилегированный класс сочетает светскую власть с функциями жрецов, либо же правящая политическая каста объединяется с кастой жрецов для достижения общих интересов.

* *Religion und Wissenschaft*. Berliner Tageblatt, 11 Nov. 1930. (Статья напечатана также в «New York Times Magazin», 9 nov. 1930 и в сб. «Mein Weltbild», 1934, 16—20. — *Ред.*)

Другим источником религиозных образов служат общественные чувства. Отец, мать, вожди большого человеческого коллектива смертны и могут ошибаться. Стремление обрести руководство, любовь и поддержку служит толчком к созданию социальной и моральной концепции бога. Божье провидение хранит человека, властвует над его судьбой, вознаграждает и карает его. Бог, в соответствии с представлениями людей, является хранителем жизни племени, человечества, да и жизни в самом широком смысле этого слова, утешителем в несчастье и неудовлетворенном желании, хранителем душ умерших. Такова социальная, или моральная, концепция бога.

Уже в священном писании можно проследить превращение религии страха в моральную религию. Продолжение этой эволюции можно обнаружить в Новом завете. Религии всех культурных народов, в частности народов Востока, по сути дела являются моральными религиями. В жизни народа переход от религии страха к моральной религии означает важный прогресс. Следует предостеречь от неправильного представления о том, будто религии первобытных людей — это религии страха в чистом виде, а религии цивилизованных народов — это моральные религии также в чистом виде. И те, и другие представляют собой нечто смешанное, хотя на более высоких ступенях развития общественной жизни моральная религия преобладает.

Общим для всех этих типов является антропоморфный характер идеи бога. Как правило, этот уровень удается превзойти лишь отдельным особенно выдающимся личностям и особенно высоко развитым обществам. Но и у тех, и у других существует еще и третья ступень религиозного чувства, хотя в чистом виде она встречается редко. Я назову эту ступень космическим религиозным чувством. Тому, кто чужд этому чувству, очень трудно объяснить, в чем оно состоит, тем более, что антропоморфной концепции бога, соответствующей ему, не существует.

Индивидуум ощущает ничтожность человеческих желаний и целей, с одной стороны, и возвышенность и чудесный порядок, проявляющийся в природе и в мире идей, — с другой. Он начинает рассматривать свое существование как своего рода тюремное заключение и лишь всю Вселенную в целом воспринимает как нечто единое и осмысленное. Зачатки космического религиозного чувства можно обнаружить на более ранних ступенях развития, например, в некоторых псалмах Давида и книгах пророков Ветхого завета. Гораздо более сильный элемент космического религиозного чувства, как учат нас работы Шопенгауэра, имеется в буддизме.

Религиозные гении всех времен были отмечены этим космическим религиозным чувством, не ведающим ни догм, ни бога, сотворенного по образу и подобию человека. Поэтому не может быть церкви, чье основное

учение строилось бы на космическом религиозном чувстве. Отсюда следует, что во все времена именно среди еретиков находились люди, в весьма значительной степени подверженные этому чувству, которые своим современникам часто казались атеистами, а иногда и святыми. С этой точки зрения люди, подобные Демокриту, Франциску Ассизскому и Спинозе, имеют много общего.

Как же может космическое религиозное чувство передаваться от человека к человеку, если оно не приводит ни к сколько-нибудь завершенной концепции бога, ни к теологии? Мне кажется, что в пробуждении и поддержании этого чувства у тех, кто способен его переживать, и состоит важнейшая функция искусства и науки.

Итак, мы подошли к рассмотрению отношений между наукой и религией с точки зрения, весьма отличающейся от обычной. Если эти отношения рассматривать в историческом плане, то науку и религию по очевидной причине придется считать непримиримыми противоположностями. Для того, кто всецело убежден в универсальности действия закона причинности, идея о существе, способном вмешиваться в ход мировых событий, абсолютно невозможна. Разумеется, если принимать гипотезу причинности всерьез. Такой человек ничуть не нуждается в религии страха. Социальная, или моральная, религия также не нужна ему. Для него бог, вознаграждающий за заслуги и карающий за грехи, немислим по той простой причине, что поступки людей определяются внешней и внутренней необходимостью, вследствие чего перед богом люди могут отвечать за свои деяния не более, чем неодушевленный предмет за то движение, в которое он оказывается вовлеченным. На этом основании науку обвиняют, хотя и несправедливо, в том, что она подорвала мораль. На самом же деле этическое поведение человека должно основываться на сочувствии, образовании и общественных связях. Никакой религиозной основы для этого не требуется. Было бы очень скверно для людей, если бы их можно было удерживать лишь силой страха и кары и надеждой на воздаяние по заслугам после смерти.

Нетрудно понять, почему церковь различных направлений всегда боролась с наукой и преследовала ее приверженцев. Но, с другой стороны, я утверждаю, что космическое религиозное чувство является сильнейшей и благороднейшей из пружин научного исследования. Только те, кто сможет по достоинству оценить чудовищные усилия и, кроме того, самоотверженность, без которых не могла бы появиться ни одна научная работа, открывающая новые пути, сумеют понять, каким сильным должно быть чувство, способное само по себе вызвать к жизни работу, столь далекую от обычной практической жизни. Какой глубокой уверенностью в рациональном устройстве мира и какой жадной познания даже мельчайших отблесков рациональности, проявляющейся в этом мире, должны были

обладать Кеплер и Ньютон, если она позволила им затратить многие годы упорного труда на распутывание основных принципов небесной механики! Тем же, кто судит о научном исследовании главным образом по его результатам, нетрудно составить совершенно неверное представление о духовном мире людей, которые, находясь в скептически относящемся к ним окружении, сумели указать путь своим единомышленникам, рассеянными по всем землям и странам. Только тот, кто сам посвятил свою жизнь аналогичным целям, сумеет понять, что вдохновляет таких людей и дает им силы сохранять верность поставленной перед собой цели, несмотря на бесчисленные неудачи. Люди такого склада черпают силу в космическом религиозном чувстве. Один из наших современников сказал, и не без основания, что в наш материалистический век серьезными учеными могут быть только глубоко религиозные люди.

Эта статья интересна как обоснование ученым, изучающим материальный мир, своего разрыва с официальной религией. Понятие космической религии сводится у Эйнштейна к вере в существование всеобщих законов природы и их познаваемости. В этом отношении важна его дискуссия с Р. Тагором (статья 40), его выступление (статья 55) и, особенно, письмо к Соловину (стр. 564).

ПРИРОДА РЕАЛЬНОСТИ *

Беседа с Рабиндранатом Тагором ¹

Эйнштейн. Вы верите в бога, изолированного от мира?

Тагор. Не изолированного. Неисчерпаемая личность человека постигает Вселенную. Ничего непостижимого для человеческой личности быть не может. Это доказывает, что истина Вселенной является человеческой истиной.

Чтобы пояснить свою мысль, я воспользуюсь одним научным фактом. Материя состоит из протонов и электронов, между которыми ничего нет, но материя может казаться сплошной, без связей в пространстве, объединяющих отдельные электроны и протоны. Точно так же человечество состоит из индивидуумов, но между ними существует взаимосвязь человеческих отношений, придающих человеческому обществу единство живого организма. Вселенная в целом так же связана с нами, как и индивидуум. Это — Вселенная человека.

Высказанную идею я проследил в искусстве, литературе и религиозном сознании человека.

Эйнштейн. Существуют две различные концепции относительно природы Вселенной:

- 1) мир как единое целое, зависящее от человека;
- 2) мир как реальность, не зависящая от человеческого разума.

Тагор. Когда наша Вселенная находится в гармонии с вечным человеком, мы постигаем ее как истину и ощущаем ее как прекрасное.

Эйнштейн. Но это — чисто человеческая концепция Вселенной.

Тагор. Другой концепции не может быть. Этот мир — мир человека. Научные представления о нем — представления ученого. Поэтому мир отдельно от нас не существует. Наш мир относителен, его реальность зависит от нашего сознания. Существует некий стандарт разумного и прекрас-

* *The Nature of Reality*. Modern Review (Calcutta), 1931, XLIX, 42—43.

¹ Беседа состоялась 14 июля 1930 г. на даче Эйнштейна в Капуте под Берлином.—
Прим. ред.

ного, придающий этому миру достоверность, — стандарт Вечного Человека, чьи ощущения совпадают с нашими ощущениями.

Эйнштейн. Ваш Вечный Человек — это воплощение сущности человека.

Тагор. Да, вечной сущности. Мы должны познавать ее посредством своих эмоций и деятельности. Мы познаем Высшего Человека, не обладающего свойственной нам ограниченностью. Наука занимается рассмотрением того, что не ограничено отдельной личностью, она является внеличным человеческим миром истин. Религия постигает эти истины и устанавливает их связь с нашими более глубокими потребностями; наше индивидуальное осознание истины приобретает общую значимость. Религия наделяет истины ценностью, и мы постигаем истину, ощущая свою гармонию с ней.

Эйнштейн. Но это значит, что истина или прекрасное не являются независимыми от человека.

Тагор. Не являются.

Эйнштейн. Если бы людей вдруг не стало, то Аполлон Бельведерский перестал бы быть прекрасным?

Тагор. Да!

Эйнштейн. Я согласен подобной концепцией прекрасного, но не могу согласиться с концепцией истины.

Тагор. Почему? Ведь истина познается человеком.

Эйнштейн. Я не могу доказать правильность моей концепции, но это — моя религия.

Тагор. Прекрасное заключено в идеале совершенной гармонии, которая воплощена в универсальном человеке; истина есть совершенное постижение универсального разума. Мы, индивидуумы, приближаемся к истине, совершая мелкие и крупные ошибки, накапливая опыт, просвещая свой разум, ибо каким же еще образом мы познаем истину?

Эйнштейн. Я не могу доказать, что научную истину следует считать истиной, справедливой независимо от человечества, но в этом я твердо убежден. Теорема Пифагора в геометрии устанавливает нечто приблизительно верное, независимо от существования человека. Во всяком случае, если есть реальность, не зависящая от человека, то должна быть истина, отвечающая этой реальности, и отрицание первой влечет за собой отрицание последней.

Тагор. Истина, воплощенная в Универсальном Человеке, по существу должна быть человеческой, ибо в противном случае все, что мы, индивидуумы, могли бы познать, никогда нельзя было бы назвать истиной, по крайней мере научной истиной, к которой мы можем приближаться с помощью логических процессов, иначе говоря, посредством органа мышления, который является человеческим органом. Согласно индийской философии, существует Брахма, абсолютная истина, которую нельзя постичь

разумом отдельного индивидуума или описать словами. Она познается лишь путем полного погружения индивидуума в бесконечность. Такая истина не может принадлежать науке. Природа же той истины, о которой мы говорим, носит внешний характер, т. е. она представляет собой то, что представляется истинным человеческому разуму, и поэтому эта истина — человеческая. Ее можно назвать *Майей*, или иллюзией.

Эйнштейн. В соответствии с Вашей концепцией, которая, может быть, является концепцией индийской философии, мы имеем дело с иллюзией не отдельной личности, а всего человечества в целом.

Тагор. В науке мы подчиняемся дисциплине, отбрасываем все ограничения, налагаемые нашим личным разумом, и таким образом приходим к постижению истины, воплощенной в разуме Универсального Человека.

Эйнштейн. Зависит ли истина от нашего сознания? В этом состоит проблема.

Тагор. То, что мы называем истиной, заключается в рациональной гармонии между субъективным и объективным аспектом реальности, каждый из которых принадлежит Универсальному Человеку.

Эйнштейн. Даже в нашей повседневной жизни мы вынуждены приписывать используемым нами предметам реальность, не зависящую от человека. Мы делаем это для того, чтобы разумным образом установить взаимосвязь между данными наших органов чувств. Например, этот стол останется на своем месте даже в том случае, если в доме никого не будет.

Тагор. Да, стол будет недоступен индивидуальному, но не универсальному разуму. Стол, который воспринимаю я, может быть воспринят разумом того же рода, что и мой.

Эйнштейн. Нашу естественную точку зрения относительно существования истины, не зависящей от человека, нельзя ни объяснить, ни доказать, но в нее верят все, даже первобытные люди. Мы приписываем истине сверхчеловеческую объективность. Эта реальность, не зависящая от нашего существования, нашего опыта, нашего разума, необходима нам, хотя мы и не можем сказать, что она означает.

Тагор. Наука доказала, что стол как твердое тело — это одна лишь видимость и, следовательно, то, что человеческий разум воспринимает как стол, не существовало, если бы не было человеческого разума. В то же время следует признать и то, что элементарная физическая реальность стола представляет собой не что иное, как множество отдельных вращающихся центров электрических сил и, следовательно, также принадлежит человеческому разуму.

В процессе постижения истины происходит извечный конфликт между универсальным человеческим разумом и ограниченным разумом отдельного индивидуума. Непрерывающийся процесс постижения идет в нашей науке, философии, в нашей этике. Во всяком случае, если бы и была

какая-нибудь абсолютная истина, не зависящая от человека, то для нас она была бы абсолютно не существующей.

Нетрудно представить себе разум, для которого последовательность событий развивается не в пространстве, а только во времени, подобно последовательности нот в музыке. Для такого разума концепция реальности будет сродни музыкальной реальности, для которой геометрия Пифагора лишена всякого смысла. Существует реальность бумаги, бесконечно далекая от реальности литературы. Для разума моли, поедающей бумагу, литература абсолютно не существует, но для разума человека литература как истина имеет бóльшую ценность, чем сама бумага. Точно так же, если существует какая-нибудь истина, не находящаяся в рациональном или чувственном отношении к человеческому разуму, она будет оставаться ничем до тех пор, пока мы будем существами с разумом человека.

Эйнштейн. В таком случае я более религиозен, чем вы.

Тагор. Моя религия заключается в познании Вечного Человека, Универсального человеческого духа, в моем собственном существе. Она была темой моих гиббертовских лекций, которые я назвал «Религия человека».

ТОМАС АЛЬВА ЭДИСОН *

Со смертью Эдисона мы потеряли одного из наиболее выдающихся изобретателей. Его технические изобретения позволяют облегчить и украсить нашу повседневную жизнь. Изобретательский дух озарил ярким светом и его собственную жизнь, и наше существование. С благодарностью мы принимаем его наследие, и не только как дар гения, но и как переданное в наши руки поручение. На новое поколение падает задача нахождения путей правильного использования переданного нам дара. Только решив эту задачу, новое поколение окажется достойным этого наследия и действительно станет счастливее предыдущих поколений.

Русский перевод включен в сб. «Физика и реальность».

* *Thomas Alva Edison* (1847—1931). *New York Times* (19 Oct. 1931), 1. (См. также: *Science*, 74, 404—405.— *Ред.*).

ПРЕДИСЛОВИЕ К КНИГЕ Р. ДЕ ВИЛЛАМИЛЯ „НЬЮТОН КАК ЧЕЛОВЕК“*

Полковник де Вилламиль, упорство и изобретательность которого позволили ему открыть для нас важные реликвии: библиотеку Ньютона, полный каталог книг, принадлежавших великому ученому, и опись всего его имущества, — заслуживает благодарности и поздравлений физиков всего мира.

Эти находки позволяют нарисовать гораздо более реалистическую картину жизни и работы человека, чем старая легенда о яблоке, упавшем в саду.

Было бы чрезвычайно интересно проследить, в какой мере Ньютон черпал вдохновение из трудов тех авторов, чьи работы имелись в его библиотеке, и оценить это влияние. На мысль о таком исследовании невольно наводят как те книги, которые входят в его библиотеку, так и те, которые могли бы там быть. Такое исследование было бы неопценимо для тех, кто хотел бы увидеть Ньютона в правильной перспективе. Что же касается истории математики, то у специалистов глубокий интерес вызовет предположение де Вилламиля о том, что Ньютон явился создателем вариационного исчисления. В пользу этого предположения свидетельствует приоритет публикаций Ньютона перед трудами Лагранжа. Это предположение могло бы послужить решению проблемы о том, как Ньютон пришел к некоторым из полученных им результатов, и заслуживает поэтому тщательного критического рассмотрения.

Я надеюсь, что успех де Вилламиля побудит других исследователей заняться розысками сокровищ, которые, может быть, все еще ожидают открытия в частных библиотеках, неизвестных широкой публике. Такие открытия с каждым днем встречаются все реже и реже. Исследование де Вилламиля позволило своевременно предотвратить распыление собрания книг, которое вряд ли удалось бы собрать заново, если бы эти книги разошлись по разным библиотекам. Публикуя каталог библиотеки и опись имущества Ньютона, де Вилламиль сохранил ценный фактический материал для всех будущих поколений исследователей.

* *Foreword.* В кн.: R. de Villamil. *Newton, the Man.* London, Knox, 1931.

ВЛИЯНИЕ МАКСВЕЛЛА НА РАЗВИТИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ФИЗИЧЕСКОЙ РЕАЛЬНОСТИ *

Вера в существование внешнего мира, независимого от воспринимающего субъекта, лежит в основе всего естествознания. Но так как чувственное восприятие дает информацию об этом внешнем мире, или о «физической реальности», опосредствованно, мы можем охватить последнюю только путем рассуждений. Из этого следует, что наши представления о физической реальности никогда не могут быть окончательными. Мы всегда должны быть готовы изменить эти представления, т. е. изменить аксиоматическую базу физики, чтобы обосновать факты восприятия логически наиболее совершенным образом. И действительно, беглый взгляд на развитие физики показывает, что ее аксиоматическая основа с течением времени испытывает глубокие изменения.

Со времени обоснования теоретической физики Ньютоном наибольшие изменения в ее теоретических основах, другими словами, в нашем представлении о структуре реальности, были достигнуты благодаря исследованиям электромагнитных явлений Фарадеем и Максвеллом. В дальнейшем мы попытаемся изложить это точнее, учитывая как предшествующее, так и позднейшее развитие.

Согласно ньютоновой системе, физическая реальность характеризуется понятиями *пространства, времени, материальной точки и силы* (взаимодействия материальных точек). В ньютоновой концепции под физическими событиями следует понимать движение материальных точек в пространстве, управляемое неизменными законами. Материальная точка есть единственный способ нашего представления реальности, поскольку реальное способно к изменению. Понятию материальной точки соответствуют обычные воспринимаемые нами тела; материальную точку мыслят как ана-

* *Maxwell's Influence on the Development of the Conception of Physical Reality.* В сб.: «James Clerk Maxwell: A Commemoration Volume». Cambridge University Press, 1931. [См. также: «Mein Weltbild», Europa Verlag, 1953; «Ideas and Opinions», London, 1956. Статья написана к 100-летию со дня рождения Максвелла.— *Ред.*]

логию подвижных тел, лишенных таких признаков, как протяженность, форма, ориентация в пространстве, и всех «внутренних» свойств, за исключением только инерции и перемещения, и с добавлением понятия силы. Материальные тела, которые психологически привели к образованию понятия «материальной точки», должны были теперь сами рассматриваться как системы материальных точек. Следует заметить, что эта теоретическая система есть в сущности система атомистическая и механистическая. Все события должны были толковаться чисто механистически, т. е. просто как движение материальных точек в соответствии с законами Ньютона.

Наиболее неудовлетворительная сторона этой теоретической системы, если отвлечься от вновь обсуждавшихся недавно трудностей, связанных с понятием «абсолютного пространства», особенно ярко проявлялась в учении о свете, который Ньютон, будучи последовательным, также, считал состоящим из материальных частиц. Уже в то время весьма жгучим был вопрос: что же происходит с материальными частицами, составляющими свет, в случае поглощения последнего? Далее, вообще нельзя было считать удовлетворительным, когда в рассмотрение вводились материальные частицы совершенно различных видов, которые приходилось допускать, чтобы описать соответственно весомую материю и свет. Позднее к ним были добавлены электрические корпускулы, составляющие третий вид частиц, обладающие опять-таки совершенно иными основными характеристиками. Кроме того, слабым местом в основах теории было то, что силы взаимодействия, определяющие все происходящие процессы, должны были приниматься совершенно произвольно, гипотетически. И все же эта концепция реальности давала многое. Как же случилось, что люди почувствовали себя вынужденными отказаться от нее?

Чтобы придать своей системе математическую форму, Ньютон должен был изобрести понятие производной и установить законы движения в виде дифференциальных уравнений с полными производными. По-видимому, это был величайший прогресс в мышлении, который когда-либо был достигнут одним человеком. Дифференциальные уравнения в частных производных для этой цели не были необходимы, и Ньютон не нашел им систематического применения. Но они были необходимы для формулировки механики деформируемых тел; это было связано с тем, что в подобных задачах предположение о способе построения этих тел из материальных частиц вначале не играло никакой роли.

Таким образом, система дифференциальных уравнений в частных производных входила в теоретическую физику как служанка, однако постепенно она стала в ней госпожой. Это началось в XIX столетии, когда под давлением эмпирических фактов победила волновая теория света. Свет в вакууме стал толковаться как волновой процесс в эфире, и оказалось бесполезным рассматривать последний в свою очередь как конгломерат

материальных точек. Здесь впервые выявилось, что дифференциальные уравнения в частных производных оказываются естественным выражением первичных реальностей в физике. Таким образом, непрерывное поле в одной особой области теоретической физики встало наряду с материальной точкой как представитель физической реальности. Этот дуализм не преодолен до сих пор, что должно внушать беспокойство каждому последовательно мыслящему человеку.

Если бы представление о физической реальности перестало быть чисто атомистическим, то все же оно осталось бы прежде всего чисто механистическим. Все события все еще пытались бы толковать как движение инертных масс: другие способы представления нельзя было представить себе вообще. Но тут произошел великий перелом, который навсегда связан с именами Фарадея, Максвелла, Герца. Львиная доля в этой революции принадлежит Максвеллу. Он показал, что все тогдашнее знание о свете и об электромагнитных явлениях выражается в его хорошо известной двойной системе дифференциальных уравнений в частных производных, в которой электрическое и магнитное поля выступают как зависимые переменные. Правда, Максвелл пытался обосновать или оправдать эти уравнения с помощью мысленного построения механической модели. Но он использовал одну за другой несколько конструкций такого рода и фактически ни одной не принял всерьез, так что существенными оказались только сами уравнения и входящие в них напряженности поля как ни к чему другому несводимые сущности. Это понимание электромагнитного поля как несводимой далее сущности на рубеже двух столетий уже получило общее признание, и более серьезные теоретики отказались от надежды и возможности дать механическое обоснование уравнений Максвелла. Даже наоборот, вскоре появились попытки объяснить материальные частицы и их инерционные свойства на основе полевой теории с помощью теории Максвелла; правда, эти попытки не привели к окончательному успеху.

Отвлекаясь от важных, но *частных* результатов, полученных Максвеллом в течение всей жизни в разных областях физики, и обращая внимание лишь на те изменения, которые произошли благодаря ему в наших представлениях о природе физической реальности, мы можем сказать, что до Максвелла физическая реальность, поскольку она должна представлять процессы в природе, мыслилась в виде материальных точек, изменения которых состоят только в движении, описываемом обыкновенными дифференциальными уравнениями. После Максвелла физическая реальность мыслилась в виде непрерывных, не поддающихся механическому объяснению полей, описываемых дифференциальными уравнениями в частных производных. Это изменение понятия реальности является наиболее глубоким и плодотворным из тех, которое испытала физика со времен Ньютона. Нужно также добавить, что полная реализация этой программной идеи еще

не удалась. Удачные физические построения, которые с тех пор выдвигались, скорее представляли собой компромисс между этими двумя программами. Именно благодаря своему компромиссному характеру они носили печать временности и логической неполноты, хотя в отдельных задачах и приводили к большим успехам.

Так, прежде всего следует назвать электронную теорию Лоренца, в которой поле и электрические корпускулы выступают рядом друг с другом как взаимодополняющие элементы для понимания реальности. Затем появились специальная и общая теории относительности, которые, хотя и основывались полностью на представлениях полевой теории, все же до сих пор не смогли избежать независимого введения материальных точек и обыкновенных дифференциальных уравнений. Самое последнее и наиболее успешное создание теоретической физики — квантовая механика — в своих основах принципиально отличается от обеих программ, которые мы ради краткости будем называть программами Ньютона и Максвелла. В самом деле, величины, выступающие в ее основных законах, не претендуют на то, чтобы описывать *саму* физическую реальность, они описывают только *вероятность* появления физической реальности. Дирак, которому мы, по моему мнению, должны быть признательны за логически наиболее совершенное изложение этой теории, правильно отметил, что, например, трудно дать такое теоретическое описание фотона, чтобы в нем было достаточно данных для решения вопроса о том, пройдет ли фотон поставленный на его пути поляризатор или нет.

Поэтому я склоняюсь к мнению о том, что физики не будут долго довольствоваться такого рода косвенным описанием реальности, даже если теория будет удовлетворительным образом приспособлена к постулату общей теории относительности. Тогда мы снова должны будем вернуться к попытке реализации той программы, которую с правом можно назвать максвелловской, а именно: к описанию физической реальности посредством полей, не имеющих особенностей и удовлетворяющих дифференциальным уравнениям в частных производных.

ПРЕДИСЛОВИЕ К „ОПТИКЕ“ НЬЮТОНА *

Счастливым Ньютоном, счастливым детством науки! Тот, кто располагает временем и покоем, сможет, прочитав эту книгу, пережить те замечательные события, которые великий Ньютон испытал в дни своей молодости. Природа для него была открытой книгой, которую он читал без усилий. Концепции, которыми он пользовался для упорядочения данных опыта, кажутся вытекающими непринужденно из самого опыта, из замечательных экспериментов, заботливо описываемых им со множеством деталей и расставленных по порядку, подобно игрушкам. В одном лице он сочетал экспериментатора, теоретика, мастера и — в не меньшей степени — художника слова. Он предстал перед нами сильным, уверенным и одиноким; его радость созидания и ювелирная точность проявляются в каждом слове и в каждом рисунке.

Отражение, преломление, образование изображений в линзах, устройство глаза, спектральное разложение и смешение различных сортов света, изобретение телескопа-рефлектора, первоосновы теории цветов, элементарная теория радуги вереницей проходят перед нами. В конце изложены его наблюдения над цветами тонких пленок как исходная точка для последующего теоретического прогресса, ждавшего более ста лет прихода Томаса Юнга.

Эпоха Ньютона давно уже прошла проверку временем, борьба сомнений и мучения его поколения исчезли из нашего поля зрения; работы немногих великих мыслителей и художников остались, чтобы радовать и облагораживать нас и тех, кто придет за нами. Открытия Ньютона вошли в сокровищницу признанных достижений познания. Это новое издание его труда по оптике, тем не менее, должно быть принято с теплой благодарностью, потому что только сама эта книга дает нам возможность взглянуть на деятельность этого единственного в своем роде человека.

* *Foreword.* В кн.: Sir Isaac Newton. *Optics.* New York, 1931. («Оптика» Ньютона выходила в русском переводе в 1927 г.— *Ред.*)

О РАДИО *

Стыдно должно быть тому, кто пользуется чудесами науки, воплощенными в обыкновенном радиоприемнике, и при этом ценит их так же мало, как корова те чудеса ботаники, которые она жует.

Не будем же забывать, каким образом это замечательное средство связи стало достоянием человечества! Источником всех научных достижений является ниспосланная богом любознательность не покладającego рук экспериментатора и созидательная фантазия инженера-изобретателя.

Вспомним Эрстеда, впервые открывшего магнитное действие электрического тока. Вспомним Рейса, который был первым, кто воспользовался этим эффектом для электромагнитной генерации звука, Белла, сумевшего с помощью чувствительных контактов превратить звуковые волны, падавшие на мембрану микрофона, в переменный электрический ток. Вспомним Максвелла, математически доказавшего существование электромагнитных волн, и Герца, впервые создавшего их с помощью искры. Особо вспомним Либена, ставшего со своим диодом Флеминга изобретателем несравненного детектора электрических волн, оказавшегося к тому же идеально простым инструментом для генерации электрических волн. С благодарностью вспомним армию безвестных техников, упростивших радиоприборы и настолько приспособивших их к массовому производству, что радио стало общедоступным.

Подлинная демократия впервые стала возможной благодаря ученым, не только облегчившим наш повседневный труд, но и сделавшим всеобщим достоянием прекраснейшие произведения искусства и науки, наслаждение которыми до самого последнего времени было привилегией лишь избранных. Тем самым ученые пробудили от мертвящей скуки целые нации.

Радиовещание выполняет единственную в своем роде функцию: оно способствует сближению наций. Его можно использовать для укрепления чувства дружбы, так легко переходящего в недоверие и враждебность. До сих пор люди узнают друг о друге лишь с помощью кривого зеркала прессы. Радио же показывает живых людей и в основном с лучшей стороны.

* *On Radio. Cosmic Religion, with other Opinions and Aphorisms.* New York, 1931, 93—96.

О НАУКЕ*

Я верю в интуицию и вдохновение.

... Иногда я чувствую, что стою на правильном пути, но не могу объяснить свою уверенность. Когда в 1919 году солнечное затмение подтвердило мою догадку, я не был ничуть удивлен. Я был бы изумлен, если бы этого не случилось. Воображение важнее знания, ибо знание ограничено, воображение же охватывает все на свете, стимулирует прогресс и является источником ее эволюции. Строго говоря, воображение — это реальный фактор в научном исследовании.

*

Основой всей научной работы служит убеждение, что мир представляет собой упорядоченную и познаваемую сущность. Это убеждение зиждется на религиозном чувстве. Мое религиозное чувство — это почтительное восхищение тем порядком, который царит в небольшой части реальности, доступной нашему слабому разуму

*

Развивая логическое мышление и рациональный подход к изучению реальности, наука сумеет в значительной степени ослабить суеверие, господствующее в мире. Нет сомнения в том, что любая научная работа, за исключением работы, совершенно не требующей вмешательства разума, исходит из твердого убеждения (сродни религиозному чувству) в рациональности и познаваемости мира.

*

Музыка и исследовательская работа в области физики различны по происхождению, но связаны между собой единством цели — стремлением выра-

 * *On Science*. Cosmic Religion, with Other Opinions and Aphorisms. New York, 1931, 97—103.

зять неизвестное. Их реакции различны, но они дополняют друг друга. Что же касается творчества в искусстве и науке, то тут я полностью согласен с Шопенгауэром, что наиболее сильным их мотивом является желание оторваться от серости и монотонности будней и найти убежище в мире, заполненном нами же созданными образами. Этот мир может состоять из музыкальных нот так же, как и из математических формул. Мы пытаемся создать разумную картину мира, в котором мы могли бы чувствовать себя как дома, и обрести ту устойчивость, которая недостижима для нас в обычной жизни.

*

Наука существует для науки так же, как искусство для искусства, и не занимается ни самооправданиями, ни доказательством нелепостей.

*

Закон не может быть точным хотя бы потому, что понятия, с помощью которых мы его формулируем, могут развиваться и в будущем оказаться недостаточными. На дне любого тезиса и любого доказательства остаются следы догмата непогрешимости.

*

Каждый естествоиспытатель должен обладать своеобразным религиозным чувством, ибо он не может представить, что те взаимосвязи, которые он постигает, впервые придуманы именно им. Он ощущает себя ребенком, которым руководит кто-то из взрослых.

Мы можем познавать Вселенную лишь посредством наших органов чувств, косвенно отражающих объекты реального мира.

*

Ученые в поисках истины не считаются с войнами.

*

Нет иной Вселенной, кроме Вселенной для нас. Она не является частью наших представлений. Разумеется, сравнение с глобусом не следует понимать буквально. Я воспользовался этим сравнением как символом. Большинство ошибок в философии и в логике происходят из-за того, что человеческий разум склонен воспринимать символ как нечто реальное.

*

Я смотрю на картину, но мое воображение не может воссоздать внешность ее творца. Я смотрю на часы, но не могу представить себе, как выглядит создавший их часовой мастер. Человеческий разум не способен воспринимать четыре измерения. Как же он может постичь бога, для которого тысяча лет и тысяча измерений предстают как одно?

•

Представьте себе совершенно сплющенного клопа, живущего на поверхности шара. Этот клоп может быть наделен аналитическим умом, может изучать физику и даже писать книги. Его мир будет двумерным. Мысленно или математически он даже сможет понять, что такое третье измерение, но представить себе это измерение наглядно он не сможет. Человек находится точно в таком же положении, как и этот несчастный клоп, с той лишь разницей, что человек трехмерен. Математически человек может вообразить себе четвертое измерение, но увидеть его, представить себе наглядно, физически человек не может. Для него четвертое измерение существует лишь математически. Разум его не может постичь четырехмерия.

В сб. «Cosmic Religion» вместе с данной и предыдущей статьями помещена следующая подборка афоризмов под заголовком «Разное».

РАЗНОЕ *

Каждый человек заключен в темницу своих идей, и каждый в юности должен взорвать ее, чтобы попытаться сравнить свои идеи с реальностью. Но через несколько веков другой человек, быть может, отвергнет его идеи. С художником в его неповторимости такого произойти не может. Так происходит только в поисках истины, и это вовсе не печально.

*

Юность всегда одна и та же, бесконечно одна и та же.

*

Я не верю, что отдельные личности обладают какими-то неповторимыми дарованиями. Я верю лишь в то, что, с одной стороны, существует талант, а с другой — высокая квалификация.

* *Miscellaneous. Cosmic Religion, with Other Opinions and Aphorisms. New York, 1931, 104—109.*

*

Перед богом мы все одинаково умны, точнее — одинаково глупы.

*

Работать — значит думать. Поэтому точно учесть рабочий день не всегда легко. Обычно я работаю от четырех до шести часов в день. Я не слишком прилежен.

*

Интеллектуал всегда рассматривает действительность в микроскоп.

*

Никогда не забывайте, что сам по себе продукт нашего труда не является конечной целью. Материальное производство должно сделать нашу жизнь возможно прекрасной и благородной. Мы не должны опускаться до положения рабов производства.

*

Гитлер не в большей степени характеризует Германию этого десятилетия, чем антисемитские беспорядки меньших масштабов. Гитлер живет (может быть, лучше сказать «сидит») на пустом желудке Германии. Как только экономическое положение улучшится, Гитлер канет в забвение. Он любительски играет на неммыслимых крайностях.

Если говорить краткими формулами, то можно просто сказать, что пустой желудок в политике плохой советчик. К сожалению, верно и следствие из этого утверждения: до тех пор, покуда есть надежда набить желудок, тех, кто лучше разбирается в политической обстановке, не слушают.

Лично я чувствую, что в мире в настоящее время уже накоплено достаточно технических знаний, чтобы ситуация, подобная той, которая наблюдается сейчас в Германии, была невозможна. Можно было бы производить достаточно предметов первой необходимости, чтобы обеспечить каждого, и в то же время каждому можно было бы предоставить работу. Разумеется, это означало бы короткий рабочий день и высокую заработную плату, а отнюдь не продолжительный рабочий день и низкую заработную плату, как это часто предлагают.

*

Психология масс — вещь, трудная для понимания. Боюсь, что историки при написании истории никогда не принимали в расчет психологию

масс. На события они глядят ретроспективно, исходя из идеи, будто они могут точно определить причины, повлекшие за собой то или иное выдающееся событие. На самом же деле, помимо этих очевидных причин, существуют не поддающиеся определению факторы психологии масс, о которых мы знаем мало или даже ничего не знаем.

Иллюстрацией, увы, может служить моя теория. Почему всеобщее любопытство избрало своим объектом меня, ученого, который занимается абстрактными вещами и счастлив, когда его оставляют в покое? Это одно из проявлений психологии масс, недоступных моему разумению. Ужасно, что так случилось. Я страдаю от этого больше, чем можно себе представить.

*

Я не люблю подходить с мерной линейкой к таким тонким материям, как гений. Шоу, несомненно, является одной из величайших фигур в мире и как писатель, и как человек. Я как-то сказал о нем, что его пьесы напоминают мне произведения Моцарта.

В прозе Шоу нет ни одного лишнего слова, так же как в музыке Моцарта нет ни одной лишней ноты. То, что один делал в сфере мелодий, другой делает в области языка: безупречно, почти с нечеловеческой точностью передает свое искусство и свою душу.

ОТВЕТ НА ПОЗДРАВИТЕЛЬНЫЕ АДРЕСА НА ОБЕДЕ В КАЛИФОРНИЙСКОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ *

Я пришел к вам издалека, но я пришел не к чужим. Я пришел к тем, кто в течение многих лет были моими верными друзьями и сопутствовали мне в моей работе. Вы, уважаемый д-р Майкельсон, начали эту работу, когда я был еще совсем маленьким мальчиком меньше трех футов ростом. Именно Вы указали физикам новые пути и своей замечательной экспериментальной работой проложили путь развитию теории относительности. Вы нанесли непоправимый урон существовавшей тогда теории эфира и способствовали появлению идей Лоренца и Фицджеральда, из которых впоследствии развилась специальная, а затем и общая теория относительности и теория гравитации. Не будь Вашей работы, эта теория и по сей день считалась бы интересной гипотезой, но не более. Именно произведенная Вами экспериментальная проверка поставила теорию относительности на прочную основу.

Убедительными свидетельствами в пользу общей теории относительности явились обнаруженное Кемпбеллом искривление лучей света вблизи Солнца, красное смещение спектральных линий, обусловленное наличием гравитационного потенциала на поверхности Солнца, которое удалось измерить Сент-Джону, и наблюдавшееся Адамсом красное смещение спектра света, испускаемого спутником Сириуса.

Кроме того, труды Вашей чудесной обсерватории, в особенности недавнее открытие Хабблом зависимости красного смещения в линиях спектра спиральных туманностей от расстояния до них, привели к динамической концепции пространственной структуры Вселенной, нашедшей свое оригинальное и особенно яркое теоретическое выражение в работе Толмена.

Я благодарен Вам и за ту существенную помощь, которую Вы оказали квантовой теории своими экспериментальными работами, имеющими фундаментальное значение. Здесь я должен с особой благодарностью упомя-

* *Reply to Congratulatory Addresses at a Dinner given by the California Institute of Technology. Science, 1931, 73, 379.*

нута исследования Милликена по фотоэлектрическому эффекту, в которых впервые убедительно доказано, что испускание электронов твердым телом под действием света зависит от периода колебаний самого света. В соответствии с квантовой теорией такое положение особенно характерно для корпускулярной теории излучения.

Позволив себе немного порассуждать обо всем этом, я особенно счастлив воспользоваться Вашим гостеприимством в радостном настроении и счастливой надежде, что Ваши исследования будут беспрепятственно продолжаться и впредь, чтобы расширить и углубить наши познания о загадочных силах природы. От всего сердца благодарю Вас.

ПАМЯТИ АЛЬБЕРТА А. МАЙКЕЛЬСОНА *

Майкельсон родился в 1852 г. в польско-еврейской семье в Стрельно. Когда ему исполнилось два года, родители переехали в Америку. Там он и получил первоначальное образование, окончив военную академию. Затем он посвятил себя физике, завершил седьмой год своих занятий в Америке и отправился для продолжения образования в Германию и Францию. К науке он относился как художник и спортсмен, любил конструктивные идеи и проявлял упорство и изобретательность при их экспериментальном осуществлении. По-видимому, его величайшая идея пришла ему в голову еще в последние годы его учения, хотя внешние обстоятельства не позволили ему тогда же осуществить ее: речь идет о его знаменитом интерферометре, сыгравшем большую роль как в становлении теории относительности, так и в изучении спектральных линий. К сожалению, мы не можем ответить на вопрос о том, подошел ли Майкельсон к изобретению своего интерферометра с чисто оптических позиций или же его побудила к тому проблема движения тел сквозь эфир. Эйнштейн склонен отдать предпочтение второму предположению и считает создание интерферометра колоссальным достижением, тем более, что в то время эта проблема вообще не стояла в центре физических интересов. Необходимо было дать физическое доказательство движения тела относительно светового эфира, который представляли себе в виде квазитвердого, всепроникающего тела, не оказывающего материальным телам, движущимся сквозь него, никакого сопротивления. Как известно, опыт с интерферометром дал отрицательный результат. Именно это негативное открытие в значительной мере способствовало признанию правильности специальной теории относительности. Майкельсон использовал интерференционные эффекты и для того, чтобы сделать видимыми объекты с малыми угловыми размерами. Этим методом

.....
 * *Gedenkworte auf Albert A. Michelson*. Zs. angew. Chemie, 1931, 44, 685. (Изложение речи Эйнштейна на совместном заседании Берлинского физического общества и Немецкого общества технической физики 17 июля 1931 г.— *Ред.*)

ему удалось добиться разрешения порядка $1/200$ угловой секунды и расширить наши познания о звездах-гигантах. С помощью предложенных им ступенчатых решеток Майкельсон провел имеющие фундаментальное значение для новой физики исследования тонкой структуры спектральных линий. Эйнштейн считает самым изящным экспериментом Майкельсона его доказательство вращения Земли с помощью оптического метода. Если представить себе, что луч света, отражаясь от ряда зеркал, обходит вокруг Земли по экватору, то время, которое необходимо лучу, чтобы обойти один раз вокруг Земли, будет зависеть от направления обхода. Майкельсон чрезвычайно остроумно заставил луч обходить периметр большого заданного треугольника, при этом вращение Земли можно было найти по разности фаз между двумя лучами света. Вместе с тем опыт показал, если воспользоваться терминологией Майкельсона, что световой эфир не вращается вместе с Землей. В последние годы своей жизни Майкельсон занимался определением точного значения скорости света. Эйнштейн за год до смерти Майкельсона спросил у него, почему он затрачивает такие чудовищные усилия на точное измерение именно этой мировой константы, и получил следующий характерный ответ: «Потому, что это меня забавляет». Майкельсон умер в мае этого года в возрасте семидесяти девяти лет.

НАУКА И СЧАСТЬЕ*

Почему блестящая прикладная наука, приводящая к такой экономии труда и так облегчающая жизнь, приносит нам так мало счастья? Простой ответ гласит: потому, что мы еще не научились разумно пользоваться ею.

На войне она служит тому, что позволяет нам отравлять и калечить друг друга. В мирное время она подстегивает темп жизни и порождает неуверенность. Вместо того, чтобы в значительной степени избавить нас от изнуряющего труда, она превратила людей в рабов машин, безрадостно проводящих большую часть своего долгого, монотонного рабочего дня и вынужденных постоянно дрожать за свой скудный паек.

Чтобы ваш труд мог способствовать росту человеческих благ, вы должны разбираться не только в прикладной науке. Забота о самом человеке и его судьбе должна быть в центре внимания при разработке всех технических усовершенствований. Чтобы творения нашего разума были благословением, а не бичом для человечества, мы не должны упускать из виду великие нерешенные проблемы организации труда и распределения благ. Никогда не забывайте об этом за своими схемами и уравнениями.

Я мог бы спеть хвалебный гимн, рефреном которого служили бы слова о замечательном прогрессе в прикладной науке, уже достигнутом нами, и том существенном прогрессе, который вы еще принесете.

*

Возьмем совершенно нецивилизованного индейца. Будет ли его жизненный опыт менее богатым и счастливым, чем опыт среднего цивилизованного человека? Думаю, что вряд ли. Глубокий смысл кроется в том, что дети во всех цивилизованных странах любят играть в индейцев.

* *Science and Happiness*. New York Times, 17 February 1931. (Беседа со студентами в Калифорнийском технологическом институте.— *Ред.*.)

ПРОЛОГ *

Много разных людей посвящало себя науке, но не все посвящали себя науке ради самой науки. Некоторые входили в ее храм потому, что это давало им возможность проявить свое дарование. Для этой категории людей наука является своего рода спортом, занятие которым доставляет им радость подобно тому, как атлету доставляют удовольствие упражнения, развивающие силу и ловкость. Существует другая категория людей, вступающих в храм науки, с тем чтобы предоставить в ее распоряжение свой мозг, получить за это приличное вознаграждение. Такие люди становятся учеными лишь случайно, в силу обстоятельств, обусловивших выбор их жизненного пути. Если бы обстоятельства, сопутствовавшие этому выбору были иными, эти люди могли бы стать политическими деятелями или крупными дельцами. Если бы с небес спустился ангел и изгнал из храма науки всех, кто принадлежит к этим двум категориям, то боюсь, что в храме науки почти никого бы не осталось. Но все же несколько жрецов осталось бы в храме — кое-кто от прошлых времен, а кое-кто и от нашего времени. Среди последних были бы и наш Планк, и за это мы его так любим.

Я отдаю себе полный отчет в том, что при такой чистке были бы изгнаны многие из построивших значительную, может быть, даже большую часть храма науки. Но в то же время ясно, что если бы люди, посвятившие себя науке, относились только к тем двум категориям, о которых я говорил выше, то ее здание никогда бы не выросло до тех величественных размеров, которые оно имеет в настоящее время, точно так же, как не смог бы подняться лес, состоящий из одних лип и ползучих растений.

Но забудем о них. Non ragionam di lor¹. Обратимся к тем, кто снискал расположение ангела. Большею частью это странные, молчаливые, одино-

* *Prologue*. В кн.: M. P l a n c k. Where is science going? London, 1933, 9—14. (Впервые опубликована в 1932 г. в Нью-Йорке. Текст сильно перекликается со статьей 12.— *Ред.*)

¹ Эквивалентно предыдущей фразе.— *Прим. ред.*

кие люди. И все же, несмотря на то, что они похожи друг на друга, различие между ними гораздо сильнее, чем различие между теми, кого наш гипотетический ангел изгнал из храма науки.

Что заставило их посвятить свою жизнь служению науке? На этот вопрос трудно ответить вообще и никогда нельзя было бы ответить просто и категорично. Лично я склонен думать вместе с Шопенгауэром, что одним из сильнейших мотивов, побуждающих людей посвящать себя искусству и науке, является стремление избежать повседневности с ее серостью и мертвящей скукой и сбросить с себя оковы своих собственных преходящих желаний, нескончаемой вереницей сменяющих друг друга, если все помыслы сосредоточены на различного рода будничных мелочах и ограничены только ими.

К этому негативному мотиву следует добавить и позитивный. Природа человека такова, что он всегда стремился составить для себя простой и не обремененный излишними подробностями образ окружающего его мира. При этом он пытался построить картину, которая дала бы до какой-то степени реальное отображение того, что человеческий разум видит в природе. Именно это делает и поэт, и художник, и философ, и естествоиспытатель, причем каждый по-своему. В созданную им картину мира человек помещает центр тяжести своей души и таким образом находит в ней тот покой и то равновесие, которые не может найти в тесном кругу повседневной жизни, требующем с его стороны непрерывных реакций.

Какое место среди различных картин мира, созданных художником, философом и поэтом, занимает картина мира, созданная физиком-теоретиком? Главной ее особенностью должна быть особая точность и внутренняя логическая непротиворечивость, которые можно выразить только на языке математики. С другой стороны, физик должен быть жестоким по отношению к материалу, который он использует. Ему приходится довольствоваться воспроизведением лишь наиболее простых процессов, доступных нашему чувственному восприятию, ибо более сложные процессы человеческого разум не может представить себе с той чрезвычайной точностью и логической последовательностью, которые столь высоко ценимы физиком-теоретиком.

Даже пожертвовав полнотой, мы должны обеспечивать простоту, ясность и точность соответствия между изображением и изображаемым предметом. Если отдавать себе отчет в том, насколько мала та часть природы, которую можно охватить и выразить с помощью точных формулировок, опуская все сколько-нибудь тонкое и сложное, то естественно задать вопрос: что же привлекательного может быть в подобной работе? Заслуживает ли результат подобного весьма ограничительного отбора громкого названия картины мира?

Я думаю, что заслуживает, ибо большинство общих законов, на кото-

рых зиждется логическая структура теоретической физики, надлежит учитывать при изучении даже наиболее простых явлений природы. Если бы эти законы были полностью известны, то теорию любого явления природы, включая теорию самой жизни, можно было бы вывести из них с помощью одних лишь абстрактных рассуждений. Я думаю, что *теоретически* такой вывод был бы возможен, но на практике такой процесс вывода лежит вне возможностей человеческого мышления. Поэтому тот факт, что в науке мы вынуждены довольствоваться неполной картиной физического мира, обусловлен не природой этого мира, а нашими собственными особенностями.

Таким образом, высшая задача физика состоит в открытии наиболее общих элементарных законов, из которых можно было бы логически вывести картину мира. Однако не существует логического пути открытия этих элементарных законов. Единственным способом их постижения является интуиция, которая помогает увидеть порядок, кроющийся за внешними проявлениями различных процессов. Эта способность к угадыванию развивается с практикой. Но можно ли утверждать, что разные физические теории могут быть в равной мере справедливыми и допустимыми? С теоретической точки зрения в этой идее нет ничего нелогичного. Но история науки показала, что на любом этапе развития физики одна из мыслимых теоретических структур доказывала свое превосходство над всеми остальными.

Для каждого опытного исследователя ясно, что теоретическое построение в физике зависит и определяется миром чувственного восприятия, хотя не существует логического пути, следуя по которому мы могли бы от чувственного восприятия прийти к принципам, лежащим в основе теоретической схемы. Кроме того, синтез понятий, являющийся отпечатком эмпирического мира, можно свести к нескольким фундаментальным законам, на которых логически строится весь синтез. При каждом существенном продвижении вперед физик обнаруживает, что фундаментальные законы все более и более упрощаются по мере того, как развиваются экспериментальные исследования. Он удивляется, когда замечает, сколь стройный порядок возникает из того, что прежде казалось хаосом. Этот порядок нельзя считать связанным с работой его собственного интеллекта; он обусловлен одним свойством, присущим миру восприятий. Лейбниц удачно назвал это свойство «изначальной гармонией».

Физики иногда упрекают философов, занимающихся теорией познания, за то, что те не вполне оценивают этот факт. И я думаю, что именно в этом состоит смысл дискуссии, в течение нескольких лет продолжавшейся между Эрнстом Махом и Максом Планком. Последний, по всей видимости, чувствовал, что Мах не вполне оценивал стремление физиков к восприятию этой «изначальной гармонии». Именно это стремление было неиссякае-

мым источником терпения и настойчивости, с которой Планк отдавался самым простым вопросам, связанным с физической наукой, в то время как он мог бы поддаться искушению и пойти иными путями, которые привели бы к более привлекательным результатам.

Я часто слышал, как коллеги Планка связывали его отношение к науке с его необычайными личными дарованиями, его энергией и пунктуальностью. Думаю, что они ошибаются. То состояние ума, которое служит движущей силой в этом случае, напоминает состояние фанатика или влюбленного. Усилия, затрачиваемые в течение длительного периода времени, стимулируются не каким-то составленным заранее планом или целью. Это вдохновение проистекает из душевной потребности.

Думаю, что Макс Планк посмеялся бы над тем, как по-детски я блуждаю здесь с фонарем Диогена. Но что я могу сказать о его величии? Величие Планка не нуждается в жалком подтверждении с моей стороны. Его труд дал один из самых мощных толчков прогрессу науки. Его идеи будут жить и работать до тех пор, пока существует физическая наука. И я надеюсь, что пример его личной жизни послужит не меньшим стимулом для последующих поколений ученых.

ЭПИЛОГ. СОКРАТОВСКИЙ ДИАЛОГ*

Мэрфи. Вместе с нашим другом Планком я принимал участие в написании книги, посвященной главным образом проблеме причинности и свободы человеческой воли.

Эйнштейн. Честно говоря, я не понимаю, что имеют в виду, когда говорят о свободе воли. Например, я чувствую, что мне хочется то или иное, но я совершенно не понимаю, какое отношение это имеет к свободе воли. Я чувствую, что хочу закурить трубку, и закуриваю ее. Но каким образом я могу связать это действие с идеей свободы? Что кроется за актом желания закурить трубку? Другой акт желания? Шопенгауэр как-то сказал: «Человек может делать то, что хочет, но не может хотеть по своему желанию».

Мэрфи. Но сейчас в физике модно приписывать нечто вроде воли даже обычным процессам, происходящим в неорганической природе.

Эйнштейн. То, о чем Вы говорите, не просто лишено смысла. Это бессмыслица, с которой нужно всячески бороться.

Мэрфи. Ученые называют это индетерминизмом.

Эйнштейн. Индетерминизм — понятие совершенно нелогичное. Что они подразумевают под индетерминизмом? Если я скажу, что средняя продолжительность жизни какого-то радиоактивного атома равна такой-то величине, то это утверждение будет выражать некоторую закономерность. Но сама по себе эта идея не содержит идеи причинности. Эту закономерность мы называем законом средних величин, но не всякий такой закон должен иметь некий причинный смысл. В то же время, если я скажу, что средняя продолжительность жизни такого атома индетерминирована в том смысле, что она причинно не обусловлена, то я выскажу бессмысленное утверждение. Я могу сказать, что мы встретимся с Вами завтра в некоторый неопределенный момент времени. Но это вовсе не означает, что этот мо-

* *Epilogue. A Socratic Dialogue.* В кн.: M. P l a n c k. *Where is science going?* London, 1933, 210—221.

мент времени недетерминирован. Приду я или не приду, этот момент времени наступит. Здесь мы сталкиваемся с вопросом смешения субъективного мира и мира объективного. Индетерминизм квантовой физики — это субъективный индетерминизм. Его необходимо связать с чем-то, ибо в противном случае индетерминизм не имеет смысла. В случае квантовой механики индетерминизм связан с нашей неспособностью следить за отдельными атомами и предсказывать их поведение. Утверждение, что время прибытия какого-то поезда в Берлин индетерминировано, бессмысленно, если не указывать, по отношению к чему оно индетерминировано. Если поезд вообще прибывает в Берлин, то чем-то момент его прибытия детерминирован. То же относится и к атомам.

Марфи. В каком смысле Вы применяете понятие детерминизма к природе? В том смысле, что всякое событие в природе обусловлено другим событием, которое мы называем его причиной?

Эйнштейн. Мне бы не хотелось ставить вопрос таким образом. Прежде всего я считаю, что многие недоразумения, с которыми приходится сталкиваться во всех проблемах, связанных с причинностью, проистекают из того, что вплоть до самого последнего времени было модно приводить принцип причинности лишь в его зачаточной формулировке. Когда Аристотель и схоласты дали определение того, что они понимают под причиной, идея объективного эксперимента в научном смысле еще не возникла. Поэтому они занимались тем, что давали определение метафизической концепции причины. То же относится и к Канту. Ньютон, по-видимому, осознал, что такая донаучная формулировка принципа причинности может оказаться недостаточной для современной ему физики. И Ньютон вынужден был заняться описанием тех законов, которые управляют событиями, происходящими в природе, и положить в основу своего синтеза математические законы. Я убежден, что события, происходящие в природе, подчиняются какому-то закону, связывающему их гораздо более точно и более тесно, чем мы подозреваем сегодня, когда говорим, что одно событие является причиной другого. Ведь в этом случае наша концепция ограничивается лишь тем, что происходит в один отрезок времени. То, что при этом происходит, выявляется из всего процесса в целом. Метод, к которому мы прибегаем в настоящее время, пользуясь принципом причинности, весьма груб и поверхностен. Мы ведем себя, как ребенок, который по одному стиху судит о целой поэме, ничего не зная о ее ритмическом рисунке, или как человек, начинающий учиться игре на фортепьяно и способный улавливать лишь связь какой-нибудь одной ноты с непосредственно ей предшествовавшей или следующей за ней. В какой-то мере такой подход может оказаться вполне удовлетворительным (если иметь дело с очень простыми и незамысловатыми сочинениями), но такого подхода явно недостаточно для интерпретации фуг Баха. Квантовая физика привела нас к

рассмотрению очень сложных процессов, и чтобы эта задача оказалась нам по плечу, мы должны расширить и уточнить нашу концепцию причинности.

Мэрфи. Это будет трудным делом, ибо Вам придется заняться отнюдь не модным вопросом. Если позволите, я произнесу небольшую речь. Я буду говорить не потому, что мне приятно слушать самого себя, хотя, разумеется, и это обстоятельство играет не последнюю роль. (Какой же ирландец не любит слушать самого себя?) Мне хотелось бы узнать Вашу реакцию на мое выступление.

Эйнштейн. Разумеется, я Вас слушаю.

Мэрфи. Судьба, или предопределение, составляет основу греческой драмы. А драма в то время была лишь подчиненным строгим канонам выражением сознания, глубоко иррационально воспринимающего действительность. В греческой драме действующие лица не просто рассуждали, как в пьесах Шоу. Вспомните трагедию Атрея, где судьба, или неизбежная цепь причин и следствий, является той единственной нитью, на которой держится вся драма.

Эйнштейн. Судьба, или предопределение, и принцип причинности — это не одно и то же.

Мэрфи. Я знаю. Но ученые живут в том же мире, что и остальные люди. Некоторые из ученых посещают политические митинги и ходят в театр, и большинство из тех, кого я знаю, по крайней мере здесь, в Германии, следят за литературой. Они не могут избежать влияния той *среды*, в которой живут. А *среда* в настоящее время в основном характеризуется борьбой за избавление от причинных цепей, опутавших мир.

Эйнштейн. Но разве человечество не всегда боролось за избавление от причинных цепей?

Мэрфи. Всегда, но не до такой степени, как сейчас. Во всяком случае я сомневаюсь, чтобы политический деятель мог всегда взвесить последствия той причинной цепи событий, которую он приводит в действие по собственной глупости. Сам он весьма ловок и сумеет во время выскользнуть. Макбет не был политиком, и именно поэтому он и потерпел поражение. Он понимал, что убийство не сможет предотвратить последствий. Но он не думал о том, как вырваться из оков последствий, до тех пор, пока не было уже слишком поздно, и все лишь потому, что он не был политиком. Я считаю, что в настоящее время люди начинают сознавать неизбежность неминуемой последовательности событий. Они начинают понимать то, что им давно говорил Бернард Шоу в своей пьесе «Цезарь и Клеопатра» (разумеется, это говорилось им и раньше бесчисленное число раз). Вы помните слова Цезаря, обращенные к царице Египта после того, как по ее приказу был убит Фотйн, хотя Цезарь гарантировал тому безопасность.

«Ты слышишь? — сказал Цезарь. — Те, что ломаются сейчас в ворота твоего дворца, и они тоже верят в отмщенье и убийство. Ты убила их

вождя, и они будут правы, если убьют тебя. Если ты не веришь, спроси этих твоих четырех советчиков. А тогда, во имя того же права, разве я не должен буду убить их за то, что они убили свою царицу, и быть убитым в свою очередь их соотечественниками за то, что я вторгся в отчизну их? И что же тогда останется Риму, как не убить этих убийц, чтобы мир увидал, как Рим мстит за сынов своих и за честь свою? И так до скончания века — убийство будет порождать убийство, и всегда во имя права и чести и мира, пока боги не устанут от крови и не создадут породу людей, которые научатся понимать»¹.

Люди в настоящее время начинают постигать эту ужасную истину не потому, что они осознают принцип «кровь за кровь», а лишь потому, что видят: грабя своего соседа, Вы грабите самого себя. И так же, как осуществляется принцип «кровь за кровь», осуществляется и принцип «грабеж за грабеж». Так называемые победители в мировых войнах грабили побежденных. Теперь же они знают, что, грабя побежденных, они грабят самих себя. Потому-то теперь и наступило состояние всеобщей нищеты. Многие теперь стали понимать это, но они не имеют мужества смотреть правде в глаза и, подобно Макбету, прибегают к гадалиню. Макбету гадали ведьмы, у которых был волшебный котел. В этом случае, к сожалению, наука является одним из ингредиентов, брошенных в этот котел, чтобы дать людям желанную панацею. Вместо того, чтобы смело признать существующий беспорядок, трагедии, преступления, каждый стремится доказать свою невинность и найти алиби, позволяющее уйти от ответственности за последствия собственных деяний. Взгляните на вереницу голодных, которые каждый день приходят к Вашей двери, моля о куске хлеба. Это люди в полном расцвете сил, жаждущие использовать право человека на труд. Вы можете увидеть их на улицах Лондона, их грудь украшает медаль за храбрость, но они вынуждены просить кусок хлеба. То же самое происходит и в Нью-Йорке, и в Чикаго, и в Риме, и в Турине. Тот, кто с удобством устроился в мягком кресле, говорит: «Нас это не касается». И говорит это потому, что знает, что его это как раз касается. Затем он берет популярные книжки по физике и с удовлетворением вздыхает, когда ему говорят, что такой вещи, как закон причинности, не существует.

Что же нужно? Ведь это Наука, а Наука в настоящее время — двойник религии. Именно буржуа, столь высоко ценящий личный комфорт, способствовал созданию институтов и лабораторий. И что бы Вы ни говорили, ученые не были бы людьми, если бы не разделяли этих воззрений, хотя бы и подсознательно.

Эйнштейн. Ну, так говорить нельзя.

¹ Цит. по: Б е р н а р д Ш о у. Избранные произведения в двух томах, т. I, ГИХЛ, 1956, 463—464. — *Прим. ред.*

Мэрфи. Почему же? Вполне возможно. Вспомните о корыстолюбцах в Вами же самими нарисованной картине храма науки, а ведь они создали большую его часть. Вы же сами признали, что заслужить расположение ангела смогли бы лишь немногие. Я склонен думать, что та борьба, которая происходит в современной науке, представляет собой попытку не допустить обычный здравый смысл в разработанные ей схемы мышления. Это очень напоминает ту борьбу, которую когда-то вели теологи. Однако в эпоху Возрождения они уступили велению времени и ввели в свою науку чуждые ей идеи и методы, которые в конце концов и привели к кризису теологии.

Упадок схоластики начался с того времени, когда вокруг философов и теологов стали разгораться страсти толпы. Вспомните, какую давку устроили профаны, слушая Абеляра в Париже, а ведь ясно, что они не могли понять оригинальности его суждений. Лесть толпы в гораздо большей степени послужила причиной его падения, чем чьи-либо происки. Он не был бы человеком, если бы сам не стал думать о своей науке, и он действительно поддался этому искушению. Я не уверен в том, что и в настоящее время многие ученые не находятся в его положении. Некоторые из сотканых ими блестящих хитросплетений напоминают софистические ухищрения времен упадка схоластики.

Древние философы и теологи знали об этой опасности и предпринимали попытки предотвратить ее. Они создали корпорации ученых, доступ в которые был открыт лишь для посвященных. В настоящее время мы наблюдаем те же меры предосторожности и в других областях культуры. Католическая церковь мудро сохраняет внешнюю сторону своих ритуалов и ведет богослужение на языке, непонятном простому народу. Социологи и финансисты имеют свой собственный жаргон, непонятный постороннему. Таким же способом поддерживается и величие закона. Профессия медика лишилась бы своего ореола, если бы описывались болезни и выписывались лекарства не на латыни. Но все это не столь важно, ибо эти науки, искусства или ремесла не так связаны с жизнью, как физика. Физика же в настоящее время играет решающую роль, и от этого она, по-видимому, и страдает.

Эйнштейн. Но я не знаю, против чего следовало бы возражать больше, чем против идеи науки для ученых. Это так же плохо, как искусство для художников и религия для священников. Разумеется, в том, что Вы сказали, есть доля истины. И я убежден, что распространенная в настоящее время мода применять аксиомы физической науки к человеческой жизни не только полностью ошибочна, но и заслуживает известного порицания. Я считаю, что обсуждаемая в физике проблема причинности не является новым явлением в области науки. Метод, используемый в квантовой физике, должен применяться и в биологии, потому что биологические про-

цессы в природе нельзя проследить до такой степени, чтобы стали ясны их взаимосвязи. По этой причине биологические законы должны иметь статистический характер. И я не понимаю, почему нужно было бы поднимать такой шум, когда оказалось, что на принцип причинности в современной физике приходится наложить какие-то ограничения. Такая ситуация отнюдь не является новой.

Мэрфи. Разумеется, ни к какой новой ситуации это не привело бы, но биологическая наука в настоящий момент не является столь жизненно важной, как физическая наука. Людей не слишком интересует, произошли ли мы от обезьяны или нет. Этим могут интересоваться лишь некоторые любители животных, да и те считают, что обезьяны стоят на слишком высокой ступени развития, чтобы быть предками человека. У широкой публики нет того интереса к биологии, который наблюдался во времена Дарвина и Гексли. Центр тяжести ее интересов переместился в физику. Именно поэтому публика на свой лад откликается на каждую новую идею в физике.

Эйнштейн. Я полностью согласен с нашим другом Планком и разделяю занятую им позицию по этим вопросам, но Вы, должно быть, и сами помните, что говорил и писал Планк. Он допускает, что при современном положении вещей применение принципа причинности к внутренним процессам в атомной физике невозможно, но решительно выступает против тезиса о том, что из неприменимости этого принципа следует отсутствие причинности во внешнем мире. Сам Планк по этому поводу ничего определенного не высказывает. Он лишь высказывает свое несогласие с утверждениями, на которых настаивают некоторые сторонники квантовой теории. В этом я полностью с ним солидарен. Когда же Вы говорите о людях, рассуждающих о таких вещах, как свобода воли в природе, мне трудно найти подходящий ответ. Разумеется, эта идея абсурдна.

Мэрфи. Но Вы согласны с тем, что физика не дает никаких оснований для столь незаконного применения того, что можно для удобства назвать принципом неопределенности Гейзенберга?

Эйнштейн. Согласен.

Мэрфи. Но Вам известно, что некоторые английские физики, занимающие очень высокое положение и в то же время пользующиеся широкой известностью, приняли деятельное участие в распространении тех идей, которые Вы и Планк, а также и многие другие вместе с Вами, назвали необоснованными выводами?

Эйнштейн. Следует различать физика от литератора в тех случаях, когда этими двумя профессиями занимается одно лицо. В Англии существует великая английская литература и высокая дисциплина стиля.

Мэрфи. В литературе питают ненависть к той *amor intellectualis*, к истине, которая является страстью ученых. По-видимому, английский

ученый, предаваясь своим литературным развлечениям, так искусно меняет окраску, что его так же трудно обнаружить, как гусеницу на древесном листе.

Эйнштейн. Я имею в виду, что в Англии некоторые ученые, выступая как авторы популярных книг, позволяют себе быть нелогичными и романтически настроенными, но в своей научной работе они действуют как мыслители, обладающие способностью к точным логическим построениям.

Цель ученого состоит в том, чтобы дать логически непротиворечивое описание природы. Логика для него означает то же, что законы пропорции и перспективы для художника. Так же, как и Пуанкаре, я считаю, что наукой стоит заниматься, ибо она позволяет открывать красоту природы. Наградой ученому служит, то что Анри Пуанкаре называет радостью познания, а не те возможные применения, которые может найти его открытие.

На мой взгляд, ученый занимается построением идеально гармоничной картины, придерживаясь некоторой математической схемы. Он бывает очень рад, если ему удастся установить с помощью математических формул связь между различными частями этой картины, и не задает вопроса о том, являются ли эти связи доказательством того, что во внешнем мире действует закон причинности, и если да, то в какой мере.

Марфи. Профессор, позвольте обратить Ваше внимание на то, что в один прекрасный день может произойти, когда Вы будете кататься на своей яхте по озеру. Разумеется, то, о чем я хочу сказать, нечасто случается в тихих водах озера Капут, поскольку оно расположено среди низины и внезапных порывов ветра на нем не бывает. Но если Вы идете с попутным ветром под парусом по одному из наших северных озер, Вы всегда рискуете внезапно перевернуться из-за неожиданного порыва ветра. Этим я хочу сказать, что позитивист мог бы без особого труда опровергнуть Ваши рассуждения. Если Вы скажете, что ученый занимается тем, что проводит свои умственные построения на строго логической (математической) основе, Вас тотчас же обвинят в поддержке субъективного идеализма, защищаемого такими современными учеными, как, например, сэр Артур Эддингтон.

Эйнштейн. Но это было бы смешно.

Марфи. Разумеется, такое обвинение было бы необоснованным, но в британской прессе так широко распространено мнение, что Вы разделяете теорию, согласно которой внешний мир является производным от сознания. Я обратил на это внимание моего английского друга м-ра Джоуда, написавшего превосходную книгу под названием «Философские аспекты науки». В этой книге проводится точка зрения, противоположная той, которую разделяют сэр Артур Эддингтон и сэр Джеймс Джинс, и Ваше имя упоминается как имя противника их теорий.

Эйнштейн. Ни один физик не верит, что внешний мир является производным от сознания, иначе он не был бы физиком. Не верят в это и названные Вами физики. Следует отличать литературную моду от высказываний научного характера. Названные Вами люди являются настоящими учеными, и их литературные работы не следует считать выражением их научных убеждений. Зачем кто-нибудь стал бы любоваться звездами, если бы он не был уверен в том, что звезды действительно существуют? Здесь я полностью согласен с Планком. Мы не можем логически доказать существование внешнего мира. Более того, Вы не можете логически доказать, что я сейчас разговариваю с Вами или что я нахожусь здесь. Но Вы знаете, что я здесь, и ни один субъективный идеалист не сможет убедить Вас в противоположном.

Мэрфи. Эту точку зрения очень подробно разъяснили еще схоласты, и я не могу отделаться от мысли, что многих ошибочных точек зрения, господствовавших в девятнадцатом веке и распространенных донныне, можно было бы избежать, если бы разрыв с философскими традициями, происшедший в семнадцатом веке, не был бы столь глубоким. То, с чем столкнулся современный физик, схоласты сформулировали очень отчетливо. Они описывали мысленные образы внешней реальности, как существующие *fundamentaliter in re, formaliter in mente* (основательно на деле, формально в уме. — *Ред.*).

«Эпilog» представляет собой обработку стенографической записи беседы ирландского писателя Мэрфи с Эйнштейном. В книге Планка, в которой помещена эта беседа, за ней следует запись беседы Мэрфи с Планком, в которой обсуждались, в частности, вопросы соотношения между наукой и религией. Подобный вопрос был предметом другой беседы Мэрфи и математика Салливэна с Эйнштейном «Наука и бог», напечатанной в журнале «Forum» (1930, 83, 373—379). Ниже мы приводим запись части этой беседы (ср. также статью 40 и письмо к Соловину от 1 января 1951 г., стр. 564).

НАУКА И БОГ: ДИАЛОГ *

Мэрфи. В прошлом году на собрании американских ученых в Нью-Йорке один из ораторов высказал мысль о том, что настало время, когда наука должна дать новое определение бога.

Эйнштейн. Абсолютно нелепая мысль!

Мэрфи. Но дальше последовало нечто более нелепое. Из этого инцидента возникла публичная дискуссия, в которой горячее участие приняли печать и представители церкви. Общий смысл выступлений последних сводился к тому, что вовлечение бога в научную дискуссию неуместно, ибо наука не имеет ничего общего с религией.

* *Science and God: A Dialogue.* Forum, 1930, 83, 373—379.

Эйнштейн. Думаю, что обе точки зрения основаны на весьма поверхностных представлениях о науке, как, впрочем, и о религии.

Мэрфи. Но более серьезная и более существенная сторона возникшей ситуации заключается в следующем: публичная дискуссия показала, что ученый, о котором я говорил, выразил мнение широкой публики. Во всем мире, особенно в Германии и в Америке, люди обращаются к науке в поисках духовной поддержки и вдохновения, которых им, по всей видимости, не может дать религия. В какой мере современная наука может удовлетворить эту потребность? Я бы хотел, профессор, услышать Ваше мнение по этому вопросу.

Эйнштейн. Если говорить о том, что вдохновляет современные научные исследования, то я считаю, что в области науки все наиболее тонкие идеи берут свое начало из глубоко религиозного чувства и что без такого чувства эти идеи не были бы столь плодотворными. Я полагаю также, что та разновидность религиозности, которая в наши дни ощущается в научных исследованиях, является единственной созидательной религиозной деятельностью в настоящее время, ибо ныне вряд ли можно считать, что и искусство выражает какие-то религиозные инстинкты.

Салливан. Как можно утверждать, будто высшие научные достижения выражают религиозное чувство? Разве религия не возникает по сути дела из попыток найти смысл жизни? Разве ее возникновение не обусловлено главным образом тем, что в мире есть страдание?

Эйнштейн. Не думаю, чтобы высказанная Вами концепция религии была очень глубокой. Истинно великие религиозные люди исходили совсем из другой концепции.

Салливан. Но Вы, профессор, согласны с тем, что Достоевский является великим религиозным писателем?

Эйнштейн. Согласен.

Салливан. Мне кажется, что основная проблема, рассмотрением которой он занимался, — это проблема страдания.

Эйнштейн. Я не согласен с Вами. Дело обстоит иначе. Достоевский показал нам жизнь, это верно; но цель его заключалась в том, чтобы обратить наше внимание на загадку духовного бытия и сделать это ясно и без комментариев. При таком подходе никакой проблемы не возникает, и Достоевский никакой проблемы не рассматривал.

Мэрфи. И современная наука вряд ли занимается рассмотрением проблем. Я имею в виду высшие отрасли научного исследования. Цель Вашей работы, профессор, и работ Ваших коллег, таких, как Макс Планк, Шредингер, Гейзенберг, Эддингтон и Милликен, выше и шире той цели, которую ставили перед собой ученые-исследователи старой школы. Для тех главный интерес заключался в более близкой проблеме: открытии законов природы, которые позволили бы человеку управлять силами природы и

использовать их для собственной пользы и удобства. Это особенно заметно на примере открытий в области химии или электротехники. Обывательский разум и поныне все еще вопрошает, какая польза от теории относительности. Обывательский разум не настолько дальновиден, чтобы понять, что теория относительности — это лишь первая фаза той работы, которую Вы и Ваши коллеги ведете по созданию величественного здания научной теории, венцом которой явится подлинная космология, основанная на объективном изучении фактов. Эта теория должна в конечном счете занять место тех субъективных проекций нашего разума на внешний мир, которые составляют основу философий Аристотеля и Платона, а на самом деле всего, что в наши дни называется философией. В какой мере научная теория, создаваемая Вами и Вашими коллегами, может стать философией, способной предпринять попытки установления практических идеалов жизни на руинах религиозных идеалов, потерпевших в последнее время столь ужасное поражение? Именно в этом заключается наша главная тема.

Эйнштейн. Практическая философия означала бы философию поведения. Я не считаю, что наука может учить людей морали. Я не верю, что философию морали вообще можно построить на научной основе. Например, Вы не могли бы научить людей, чтобы те завтра пошли на смерть, отстаивая научную истину. Наука не имеет такой власти над человеческим духом. Оценка жизни и всех ее наиболее благородных проявлений зависит лишь от того, что дух ожидает от своего собственного будущего. Всякая же попытка свести этику к научным формулам неизбежно обречена на неудачу. В этом я полностью убежден. С другой стороны, нет никаких сомнений в том, что высшие разделы научного исследования и общий интерес к научной теории имеют огромное значение, поскольку приводят людей к более правильной оценке результатов духовной деятельности. Но содержание научной теории само по себе не создает моральной основы поведения личности.

Мэрфи. И все же люди питают к науке своеобразное религиозное чувство, которое временами перерастает почти в религиозный фанатизм. Вы, наверное, слышали о той давке, которую устроили в Нью-Йорке, когда люди давили и увечили друг друга, стремясь во чтобы то ни стало попасть на лекцию по теории относительности?

По-видимому, они надеялись, что смогут получить некое неосознанное воодушевление, приобщаясь к великой истине, понять которую они не смогли. Когда я прочитал об этом в газетах, я невольно представил себе битвы времен раннего христианства, когда люди сражались и погибали во имя абстрактных учений о троице.

Эйнштейн. Да, я читал об этом. Думаю, что необычайный интерес, питаемый сейчас к науке широкой общественностью, и важное место, отво-

димое науке в умах человечества, являются наиболее яркими проявлениями метафизических потребностей нашего времени. Люди, по-видимому, начинают уставать от материализма в вульгарном его понимании, ощущать пустоту жизни и искать нечто, выходящее за рамки сугубо личных интересов. Всеобщий интерес к научной теории вовлек в игру высшие сферы духовной деятельности, что не может не иметь огромного значения для морального исцеления человечества.

Мэрфи. Что можно предпринять для изучения научной теории как общепедагогической дисциплины молодыми людьми в колледжах и университетах?

Эйнштейн. Если говорить о научной истине в целом, то необходимо развивать творческие способности и интуицию. Все здание научной истины можно возвести из камня и извести ее же собственных учений, расположенных в логическом порядке. Но чтобы осуществить такое построение и понять его, необходимы творческие способности художника. Ни один дом нельзя построить только из камня и извести. Особенно важным я считаю совместное использование самых разнообразных способов постижения истины. Под этим я понимаю, что наши моральные наклонности и вкусы, наше чувство прекрасного и религиозные инстинкты вносят свой вклад, помогая нашей мыслительной способности прийти к ее наивысшим достижениям. Именно в этом проявляется моральная сторона нашей натуры — то внутреннее стремление к постижению истины, которое под названием *amor intellectualis* так часто подчеркивал Спиноза. Как Вы видите, я полностью согласен с Вами, когда Вы говорите о моральных основах науки. Но обращать эту проблему и говорить о научных основах морали нельзя.

Мэрфи. Но в таком случае Вы расходитесь во мнениях с бихевиористами или даже с егенистами, считающими, что в своем поведении человек должен руководствоваться светом научного учения.

Эйнштейн. Я считаю, что высказал свою точку зрения достаточно ясно.

ЗАМЕЧАНИЯ О НОВОЙ ПОСТАНОВКЕ ПРОБЛЕМ В ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКЕ *

С помощью чувственных восприятий мы получаем знания о предметах внешнего мира лишь косвенным образом. Перед физикой в широком смысле стоит задача создания таких представлений о реально происходящих событиях и явлениях, которые бы позволили установить закономерные связи между восприятиями, получаемыми нами от наших органов чувств. Ясно, что решить эту задачу можно лишь с помощью умозрительных построений.

В настоящее время известно, что наука не может вырасти на основе одного только опыта и что при построении науки мы вынуждены прибегать к свободно создаваемым понятиям, пригодность которых можно *a posteriori* проверить опытным путем. Эти обстоятельства ускользали от предыдущих поколений, которым казалось, что теорию можно построить чисто индуктивно, не прибегая к свободному, творческому созданию понятий. Чем примитивнее состояние науки, тем легче исследователю сохранять иллюзию по поводу того, что он будто бы является эмпириком. Еще в XIX веке многие верили, что ньютоновский принцип — *«hypotheses non fingo»* — должен служить фундаментом всякой здравой естественной науки.

В последнее время перестройка всей системы теоретической физики в целом привела к тому, что признание умозрительного характера науки стало всеобщим достоянием.

Мы не задаем более вопроса об «истинности» какой-нибудь теории, а спрашиваем лишь, насколько полезна теория и какие результаты можно получить с ее помощью. Если первоначально теорию мыслили как описание реальных предметов, то в более поздние времена ее рассматривали лишь как «модель» процессов, происходящих в природе. Что же касается новейшей фазы развития, то квантовая механика привела к частичному

* *Bemerkungen über den Wandel der Problemstellungen in der theoretischen Physik.* В кн.: «Emmanuel Libman Anniversary Volumes», v. 1, Intern. Press. New York, 1932, 363—364.

отказу даже от представления о модельном характере теории. Поскольку любое теоретическое исследование носит умозрительный характер, квантовая механика видит свою главную цель в достижении результатов с помощью минимума теоретических элементов. Ради этой цели квантовая механика охотно жертвует даже принципом строгой причинности.

Здесь мне хотелось бы бросить лишь весьма поверхностный взгляд на те изменения, которые претерпели наши воззрения на физическую реальность.

Со времен Декарта и Ньютона физические явления прежде всего пытались сводить к движениям одних лишь неизменных атомов. Пространство, время, атомы (последние наделялись инерцией и силами взаимодействия), казалось, составляли весь мыслимый базис любой физической теории.

Первый существенный перелом в этих воззрениях наступил после того, как Фарадей и Максвелл ввели понятие электромагнитного поля. Понятие поля, наряду с понятием материальной частицы, стало фундаментальным независимым понятием.

В конце прошлого века наметилась даже тенденция сводить материальные частицы к понятию поля. Частицы, служащие элементами материи, способными переносить электрический заряд, рассматривали как области сгущенного поля.

Теорию относительности в ее современном виде можно считать разделом теории поля. Теория относительности также сводит к непрерывным полям свойства пространства и времени, лишив метрическую геометрию ее априорного характера, которым геометрия отличалась от остальных физических дисциплин.

Теория частиц и теория поля существенно отличаются друг от друга по своей математической структуре. Первая пытается представить реальность с помощью конечного, хотя и чудовищно большого, числа параметров, зависящих от времени. Все эти параметры удовлетворяют дифференциальным уравнениям. Вторая, напротив, использует лишь небольшое число непрерывных функций пространственных координат и времени (или четырех пространственно-временных координат).

Самая молодая область теоретической физики — квантовая механика — примыкает к теории частиц. Однако она отрицает возможность представления координат частицы в виде функций времени и вследствие этого отказывается от построения модели реальных явлений. Вместо этого квантовая механика в качестве основного понятия вводит вероятность конфигурации частицы. Вместо системы дифференциальных уравнений, описывающих последовательность изменения конфигураций частицы, в квантовой теории рассматривают одно дифференциальное уравнение (или несколько таких уравнений), указывающее, каким образом изменяется со временем вероятность конфигурации.

Для современного состояния теоретической физики характерно, что каждое из известных ныне теоретических направлений позволяет особенно хорошо описывать определенный круг явлений, но вне этого круга его применимость ограничена. Особенно остро ощущается отсутствие логически удовлетворительного синтеза теории поля и квантовой механики. Все убеждены, что необходимые составные части будущей единой теории содержатся в обеих названных выше теориях. Но никто не может утверждать, что он работал с большим успехом и безграничным самопожертвованием. Ни у кого не порождают сомнения в успехе даже те головоломные загадки, которые ставит перед нами природа; я все же думаю, что оптимизм нашего поколения основан отнюдь не на трезвой оценке трудности этой проблемы.

ИЗ КНИГИ „СТРОИТЕЛИ ВСЕЛЕННОЙ“*

ПРЕДИСЛОВИЕ

Всякий хотя бы приближенно знает, как развивались наши представления о строении мира звезд и о том месте, которое занимает в нем Земля; всякий знает имена людей, которые внесли особенно большой вклад в создание новых представлений, идей и теорий. Однако лишь немногие имели возможность познакомиться с этими людьми поближе. Лучше всего это достигается не чтением их биографий, а ознакомлением с их оригинальными работами, в которых запечатлен ход мысли великих личностей.

Цель этой небольшой книги и состоит в том, чтобы собрать воедино такие оригинальные работы. Я ничуть не сомневаюсь, что она будет встречена с интересом и доставит огромную радость не только студентам, но и многим из тех, кто после напряженного рабочего дня имеет всего лишь несколько часов для тихих размышлений.

ОБРАЩЕНИЕ К СТУДЕНТАМ КАЛИФОРНИЙСКОГО УНИВЕРСИТЕТА В ЛОС-АНЖЕЛОСЕ (февраль 1932 г.)

Наука как нечто существующее и полное является наиболее объективным и вневичным из всего, что известно человеку. Однако наука как нечто, еще только зарождающееся, или как цель столь же субъективна и психологически обусловлена, как и все другие стремления людей.

.....
* *Introduction and Adress to Students of the University of California at Los-Angeles.* В кн.: «The Builders of the Universe», Los Angeles, 1932, 9, 91—93. В этой книге помещены на немецком и английском языках печатаемые здесь «Предисловие» (стр. 9—10) и «Обращение...» (стр. 91—96).

Именно этим объясняется то, что на вопрос о цели и сущности науки в разные времена разные люди давали самые различные ответы.

Разумеется, все сходится на том, что наука должна устанавливать связь между опытными фактами с тем, чтобы на основании уже имеющегося опыта мы могли предсказывать дальнейшее развитие событий. В самом деле, по мнению многих позитивистов, единственная цель науки состоит в как можно более полном решении этой задачи.

Однако я не уверен, что столь примитивный идеал мог бы зажечь такую сильную исследовательскую страсть, которая и явилась причиной подлинно великих достижений. Имеется еще одна тенденция, более сильная, хотя и более загадочная, замаскированная неустанными усилиями исследователя: стремление познать действительность, реальность. Однако следует всячески избегать употребления таких слов, поскольку здесь имеется трудность, состоящая в необходимости объяснять, что же на самом деле понимается под «реальностью» и «познанием» в столь общем утверждении.

Если отбросить все мистические элементы, то это означает, что мы пытаемся найти систему идей, которая позволила бы нам по возможности просто связать воедино наблюдавшиеся факты. Но такая простота вовсе не означает, что усвоение именно этой системы доставит студенту меньше всего хлопот. Мы имеем в виду лишь то, что система содержит наименьшее возможное число независимых постулатов или аксиом, ибо содержание этих логически независимых аксиом и представляет собой тот остаток, который не познаваем.

Когда человек говорит о каком-то научном предмете, короткое слово «я» не должно играть роли в его рассуждениях. Однако, если он говорит о целях и назначении науки, ему разрешается включать в рассмотрение и самого себя, поскольку никакие цели и стремления человек не воспринимает так непосредственно, как свои собственные. Та особая цель в области теоретической физики, которая кажется мне особенно важной, состоит в логической унификации теории. Сначала меня беспокоило, что электродинамика отдает предпочтение одному состоянию движения перед другими, не имея для этого отбора никаких экспериментально подтвержденных оснований. Так возникла специальная теория относительности, объединившая в единое целое электрическое и магнитное поля, а также массу и энергию или, в зависимости от обстоятельств, импульс и энергию. Затем из попыток понять инерцию и гравитацию, имеющих сходные свойства, возникла общая теория относительности, в которой, кроме того, удалось избежать неявных постулатов, используемых при формулировке основных законов в специальных системах координат.

В настоящее время особое беспокойство вызывает то, что гравитационное и электрическое поля должны входить в теорию как независимые

фундаментальные понятия. Надлежащее (как я надеюсь) логическое объединение этих понятий было достигнуто после многих лет напряженных поисков с помощью нового математического метода, предложенного мной вместе с моим превосходным сотрудником д-ром В. Майером ¹.

В настоящее время все еще стоит важная задача того же рода, которую часто формулировали, но которая так и не получила удовлетворительного решения: объяснение строения атома с помощью теории поля. Все эти усилия основываются на уверенности в том, что действительность должна обладать весьма гармоничной структурой. В настоящее время у нас больше оснований для столь прекрасной уверенности, чем когда бы то ни было ².

¹ Ср. т. II, статьи 105—107.— *Прим. ред.*

² Под портретом, помещенным в книге, факсимильная надпись Эйнштейна: *«Каждый, хотя бы бегло, должен познакомиться со всем лучшим. А. Эйнштейн».*— *Прим. ред.*

К СЕМИДЕСЯТИЛЕТИЮ Д-РА БЕРЛИНЕРА *

Я хотел бы здесь объяснить своему другу Берлинеру и читателям это-го журнала¹, почему так высоко ценю его труд. Это должно быть сделано именно здесь, потому что иначе не представится подходящего случая высказать такое. Воспитанная в нас привычка к объективному наложила «табу» на все личное; согрешить против нее можно только в исключительных случаях, один из которых представляется мне сейчас.

После такой попытки к освобождению вернемся снова к объективному. Круг охватываемых наукой вопросов чрезвычайно расширился, теоретическое познание во всех областях естествознания непредвиденно углубилось. Но познавательная способность человека ограничена узкими рамками и не изменяется. Поэтому деятельность отдельных исследователей неизбежно стягивается ко все более ограниченному участку всеобщего знания. Еще хуже то, что эта специализация приводит ко все большему отставанию единого, общего понимания науки, без которого истинная глубина исследовательского духа неизбежно уменьшается от развития науки. Создается ситуация, подобная той, которая символически изложена в библейской истории о Вавилонской башне. Каждому серьезному ученому знакомо это болезненное чувство невольной ограниченности все более сужающимся кругом представлений, угрожающей отнять у исследователя широкую перспективу, принижая его до уровня ремесленника.

Мы все страдали от этого бедствия, но ничего не предпринимали для его ослабления. Берлинер же оказал большую помощь говорящим на немецком языке. Он видел, что существующие популярные журналы могут дать достаточно сведений и советов неспециалисту. Но он видел также, что для ознакомления с наукой ученым, которые хотят ориентироваться

* *Zu dr. Berliners siebzigstem Geburtstag*. Naturwiss., 1932, 20, 913.

¹ А. Берлинер был основателем и издателем журнала «Die Naturwissenschaften». — *Прим. ред.*

в развитии научных проблем, методов и результатов настолько, чтобы иметь возможность составить собственное мнение, необходим особенно тщательно и систематически издаваемый орган. В своей многолетней работе он преследовал эту цель с большим пониманием и не меньшим упорством, чем оказал всем нам и науке в целом такую услугу, за которую мы не в состоянии его достаточно отблагодарить.

Он должен был привлекать для сотрудничества в качестве авторов удачливых ученых, вынуждая их при этом излагать свою тему в форме, понятной, насколько это возможно, даже неспециалистам. Он мне часто рассказывал о боях, которые ему пришлось вести для достижения этой цели. При мне он однажды выразил возникающие трудности в следующем шутовском вопросе: «Что такое автор-ученый?» Ответ: «Гибрид мимозы и дикобраза»².

Стимулом всей деятельности Берлинера было стремление к выработке ясного представления о различных областях науки. Этой цели соответствует и написанный им учебник физики, явившийся результатом многолетней напряженной работы. Об этом учебнике один студент-медик сказал мне недавно: «Не знаю, как без этой книги за имеющееся в моем распоряжении время я смог бы уяснить себе принципы современной физики!»

Стремление Берлинера к тому, чтобы в журнале все было изложено наглядно и предельно ясно, в большой мере способствовало усвоению читателями проблем, методов и результатов науки! Нельзя представить себе научную жизнь нашего времени без созданного им журнала. Сделать познание живым и сохранить эту живость так же важно, как и решить какую-либо конкретную проблему. Мы все знаем, чем обязаны Арнольду Берлинеру!

Русский перевод включен в сб. «Физика и реальность».

² Не сердись, дорогой Берлинер, за эту нескромность. Серьезный человек радуется, когда ему удастся хоть раз посмеяться от всего сердца!

МОЕ КРЕДО *

Принадлежать к числу людей, отдающих все свои силы обдумыванию и исследованию объективных фактов, имеющих непреходящее значение,— особая честь. Как я рад, что и я в какой-то степени удостоился этой чести, позволяющей человеку стать в значительной мере независимым от его личной судьбы и поступков окружающих. Но, получив эту независимость, не следует забывать о тех обязанностях, которые неразрывно связывают нас с прошлыми, ныне здравствующими и будущими поколениями людей...

Меня часто угнетает мысль о том, что очень многое в моей жизни строится на труде окружающих меня людей, и я сознаю, сколь многим я им обязан.

Я никогда не стремился к благополучию или роскоши и даже в какой-то мере испытываю к ним презрение. Мое стремление к социальной справедливости, так же как и мое отрицательное отношение ко всяким связям и зависимостям, которые я не считаю абсолютно необходимыми, часто вынуждали меня вступать в конфликт с людьми. Я всегда с уважением отношусь к личности и испытываю непреодолимое отвращение к насилию и обезличке.

Все это сделало меня страстным пацифистом и антимилитаристом, отвергающим всякий национализм, даже если он выступает в роли патриотизма.

Преимущества, создаваемые положением в обществе или богатством, всегда кажутся мне столь же несправедливыми и пагубными, как и чрезмерный культ личности. Идеалом я считаю демократию, хотя недостатки демократической формы государства мне хорошо известны. Социальное равноправие и экономическое благосостояние отдельной личности всегда

* *Mein Glaubensbekenntnis* (1932). В кн.: F. H e r n e s k. Albert Einstein. Berlin, 3te Aufl., 1967, 254—255. (На русском языке издан перевод со 2-го издания.—Ред.)

представлялись мне важной целью, стоящей перед обществом, управляемым государством.

Хотя в повседневной жизни я типичный индивидуалист, все же сознание незримой общности с теми, кто стремится к истине, красоте и справедливости, не позволяет чувству одиночества овладеть мной.

Самое прекрасное и глубокое переживание, выпадающее на долю человека, — это ощущение таинственности. Оно лежит в основе религии и всех наиболее глубоких тенденций в искусстве и науке. Тот, кто не испытал этого ощущения, кажется мне, если не мертвецом, то во всяком случае слепым. Способность воспринимать то не постижимое для нашего разума, что скрыто под непосредственными переживаниями, чья красота и совершенство доходят до нас лишь в виде косвенного слабого отзвука, — это и есть религиозность. В этом смысле я религиозен. Я довольствуюсь тем, что с изумлением строю догадки об этих тайнах и смиренно пытаюсь мысленно создать далеко не полную картину совершенной структуры всего сущего.

Эта речь Эйнштейна была издана «Лигой человеческих прав» весной 1932 г. в Германии в виде патефонной пластинки.

ПИСЬМА В ПРУССКУЮ И БАВАРСКУЮ АКАДЕМИИ НАУК

ОТКРЫТОЕ ПИСЬМО В ПРУССКУЮ АКАДЕМИЮ НАУК*

Ле Кок-Сюр-Мер (Бельгия)

5 апреля 1933 г.

Из абсолютно надежных источников я получил сообщение о том, что Прусская академия наук в своей официальной декларации заявила об «участии Альберта Эйнштейна в бесчинствах, происходивших в Америке и Франции».

Настоящим я заявляю, что никогда не принимал участия ни в каких бесчинствах. Должен добавить, что я не видел ничего, что хоть в какой-то мере напоминало какие-нибудь бесчинства. В подавляющем большинстве случаев люди довольствовались тем, что повторяли и комментировали официальные заявления и приказы ответственных лиц правительства Германии, а также программу экономического уничтожения немецких евреев.

В заявлении, сделанном мной представителям печати, я отказался от звания академика и германского гражданства. Я объяснил, что не хочу жить в стране, где личности не гарантированы равные права перед законом, свобода слова и свобода преподавания.

Кроме того, я объяснил современное положение в Германии массовым психозом и указал на некоторые его причины. В своей статье, предназначенной для членов Международной Лиги борьбы с антисемитизмом, а не для печати, я призвал всех мыслящих людей, которые остались верными идеалам цивилизации, находящейся ныне под угрозой, сделать все возможное, чтобы предотвратить дальнейшее распространение этого массового психоза, столь ужасно проявившегося в Германии.

* *Open letter to the Prussian Academy of Sciences.* New York Times, 1933, April, 16:5. (См. также Science, 1933, 77, May 12, 444).

Академии было бы нетрудно получить подлинный текст моих заявлений, прежде чем говорить обо мне в том тоне, в котором выдержана ее декларация. Немецкая пресса тенденциозно исказила мои заявления, но только этого и можно было ожидать от нее при нынешнем нажиме.

Я отвечаю за каждое свое слово. В свою очередь я ожидаю, что и академия, в особенности после того как она внесла свой вклад в диффамацию моей личности в Германии, должна будет довести это мое заявление до сведения своих членов и немецкого народа, перед которым меня оклеветали.

ОТВЕТ НА ПИСЬМО ПРУССКОЙ АКАДЕМИИ *

Ле Кок-Сюр-Мер,
12 апреля 1933 г.

Я получил Ваше послание от 7.4 сего года и не могу не выразить решительного осуждения тому умонастроению, которым оно проникнуто.

Что же касается фактов, то на это я могу ответить следующее.

Все, что вы говорите о моем поведении, по существу представляет лишь иную форму уже опубликованного Вами заявления, в котором Вы обвиняете меня в участии в бесчинствах, направленных против немецкого народа. В своем последнем письме я уже охарактеризовал подобные утверждения как клевету.

Вы далее упомянули о том, что если бы я со своей стороны выступил бы со «свидетельскими показаниями» в защиту «немецкого народа», то это произвело бы большое впечатление за границей. На это я отвечаю, что выступить с тем заявлением, о котором Вы говорите, означало бы предать все те понятия справедливости и свободы, за которые я ратовал всю свою жизнь. Вопреки тому, что Вы говорите, подобное заявление пошло бы не на пользу немецкому народу, а лишь было бы на руку тем, кто пытается подорвать идеи и принципы, завоевавшие немецкому народу почетное место в цивилизованном мире. Выступив с подобным заявлением, я бы способствовал, пусть даже косвенным образом, падению нравов и уничтожению всех существующих культурных ценностей.

Именно поэтому я был вынужден выйти из состава Академии. Ваше письмо еще раз показало мне, насколько прав я был, поступив таким образом.

Письмо Эйнштейна было направлено в ответ на письмо Непременного секретаря Прусской академии наук Эрнста Хеймана. В этом письме Эйнштейн обвиняется в антигерманской деятельности во Франции и США. Непременный секретарь сообщает, что

* «Mein Weltbild», 105—106.

Академия «не имеет оснований сожалеть об уходе Эйнштейна». Ответ Эйнштейна был опубликован в нескольких газетах. Прусская академия направила 7 и 11-го апреля 1933 г. письма Эйнштейну с подтверждением своих обвинений. На эти письма Эйнштейн ответил 12 апреля 1933 г.

В то же время президент Баварской академии наук 8 апреля сообщает Эйнштейну (который был членом-корреспондентом этой академии), что уход из Прусской академии влечет за собой и изменение его статуса в Баварской академии. На это письмо последовал ответ Эйнштейна от 21 апреля.

ОТВЕТ БАВАРСКОЙ АКАДЕМИИ *

Ле Кок-Сюр-Мер,
21 апреля 1933 г.

В своем послании по случаю отказа от звания члена Прусской Академии я уже указал причины, по которым при нынешних обстоятельствах я не желаю ни быть гражданином Германии, ни находиться в какой бы то ни было зависимости от Прусского министерства просвещения.

Эти причины сами по себе не влекут за собой ухудшения моих отношений с Баварской Академией. Если же я тем не менее хочу, чтобы мое имя было вычеркнуто из списка ее членов, то причина здесь иная. Первейшая обязанность всякой Академии состоит в том, чтобы поощрять и защищать научную жизнь страны. Несмотря на это, ученые общества Германии, насколько мне известно, стали молчаливыми свидетелями того, как значительную часть немецких ученых, студентов и преподавателей в Германии лишили возможности работать и добывать себе средства к существованию. Я не имею ни малейшего желания принадлежать к любому ученому обществу, способному, пусть даже под давлением извне, вести себя подобным образом.

Незадолго до своего возвращения из США, где он был с декабря 1932 г. в Калифорнийском технологическом институте (КАЛТЕХ), Эйнштейн сделал следующее заявление, опубликованное 11 марта 1933 г. в газете «New York World Telegram». (Немецкий текст был включен в «Mein Weltbild» под названием «Bekenntnis», английский перевод — в «The World as I see it», «Out of My later Years» и «Ideas and Opinions».

ЗАЯВЛЕНИЕ

Март 1933 г.

До тех пор, пока у меня будет такая возможность, я останусь только в стране, где господствует политическая свобода, терпимость и равенство всех граждан перед законом. Политическая свобода означает сво-

* «Mein Weltbild», p. 107.

боду выражения своих политических взглядов устно или письменно. Терпимость означает уважение взглядов любого другого человека, кем бы он ни был.

В настоящее время в Германии таких условий нет. Там подвергаются преследованиям те, кто имеет особые заслуги в установлении международного понимания, в том числе ведущие деятели искусства.

Любой общественный организм так же, как любой индивидуум, может заболеть психически под действием напряжения. Нации обычно превозмогают эти болезни. Я надеюсь, что и в Германии здоровые условия в скором времени возобладают, и в дальнейшем там не только будет время от времени устраивать торжества в честь таких великих людей, как Кант и Гёте, но и сама общественная жизнь и всеобщее сознание проникнется духом тех идей, которые они проповедовали.

О МЕТОДЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ*

Если вы хотите узнать у физиков-теоретиков что-нибудь о методах, которыми они пользуются, я советую вам твердо придерживаться следующего принципа: не слушайте, что они говорят, а лучше изучайте их работы. Тому, кто в этой области что-то открывает, плоды его воображения кажутся столь необходимыми и естественными, что он считает их не мысленными образами, а заданной реальностью. И ему хотелось бы, чтобы и другие считали их таковыми.

Может показаться, что эти слова звучат как намек на то, чтобы вы покинули эту лекцию. Вы можете сказать: ведь он сам — работающий физик, и потому все размышления о структуре теоретической науки, вероятно, передоверит гносеологам.

Против такой критики я лично могу защититься, заверив вас, что не по собственной инициативе, а по любезному приглашению поднялся я на эту трибуну, которая служит напоминанием о человеке, всю свою жизнь твердо борвшемся за единство знания.

Но по существу мое выступление можно было бы оправдать тем, что каждому интересно знать, что думает о своей науке человек, который всю жизнь отдавал свои силы выяснению и улучшению основ науки. Его точка зрения на прошлое и настоящее своей области, пожалуй, очень сильно зависит от того, с чем он связывает надежды на будущее и что ставит своей целью в настоящем, но это — неизбежный удел всякого, кто интенсивно углубился в мир идей. То же самое происходит и с историком, который точно таким же образом, хотя, может быть, и неосознанно, группирует действительные события вокруг идеальных представлений о человеческом обществе, которые он сам создал для себя.

Бросим теперь беглый взгляд на развитие метода теоретической физики и при этом обратим особое внимание на отношение между содержа-

* *On the Method of Theoretical Physics*. Oxford, Clarendon Press, 1933. (Спенсеровская лекция, прочитанная в Оксфорде 10 июня 1933 г.— *Ред.*)

нием теории и совокупностью опытных фактов. Здесь мы встречаемся с вечным противоречием между двумя нераздельными компонентами человеческого познания в нашей области — опытом и мышлением.

Мы почитаем древнюю Грецию как колыбель западной науки. Там впервые было создано чудо мысли — логическая система, теоремы которой вытекали друг из друга с такой точностью, что каждое из доказанных ею предложений было абсолютно несомненным: я говорю о геометрии Эвклида. Этот замечательный триумф мышления придал человеческому интеллекту уверенность в себе, необходимую для последующей деятельности. Если труд Эвклида не смог зажечь ваш коношеский энтузиазм, то вы не рождены быть теоретиком.

Но прежде чем человечество созрело для науки, охватывающей действительность, необходимо было другое фундаментальное достижение, которое не было достоянием философии до Кеплера и Галилея. Чисто логическое мышление не могло принести нам никакого знания эмпирического мира. Все познание реальности исходит из опыта и возвращается к нему.

Положения, полученные при помощи чисто логических средств, при сравнении с действительностью оказываются совершенно пустыми. Именно потому, что Галилей создавал это, и особенно потому, что он внушал эту истину ученым, он является отцом современной физики и, фактически, современного естествознания вообще.

Но если опыт есть начало и конец всего нашего знания реальности, то какова же роль логического мышления в науке? Полная система теоретической физики состоит из понятий, фундаментальных законов, которые должны иметь силу для этих понятий, и следствий, выведенных посредством логической дедукции. Это те следствия, которые должны соответствовать нашему единичному опыту; в любом теоретическом трактате их логический вывод занимает почти все страницы.

Здесь справедливо точно то же, что и в геометрии Эвклида, за исключением того, что там фундаментальные законы называются аксиомами и не возникает вопроса о том, что выводы должны соответствовать какому-либо опыту. Если, однако, эвклидову геометрию рассматривают как науку о возможности взаимного расположения реальных твердых тел, т. е. если ее трактуют как физическую науку, не абстрагируясь от ее первоначального эмпирического содержания, то логическое сходство геометрии и теоретической физики становится полным.

Таким образом, мы определили место логического мышления и опыта в системе теоретической физики. Логическое мышление определяет структуру этой системы; то, что содержит опыт и взаимные соотношения опытных данных, должно найти свое отражение в выводах теории. В том, что такое отражение возможно, состоит единственная ценность и оправдание всей системы и особенно понятий и фундаментальных законов, лежащих в

ее основе. В остальном эти последние суть свободные творения человеческого разума, которые не могут быть априори оправданы ни природой этого разума, ни каким-либо другим путем.

Эти фундаментальные понятия и законы, которые дальше не могут быть сводимы, образуют неотъемлемую часть теории, которая не поддается рациональной трактовке. Важнейшая цель любой теории состоит в том, чтобы этих основных несводимых элементов было как можно меньше и чтобы они были как можно проще, однако так, чтобы это не исключало точного отображения того, что содержится в опыте.

Кратко обрисованный здесь взгляд, согласно которому основы научной теории имеют чисто умозрительный характер, еще не был господствующим в XVIII и XIX веках. Но постепенно он получает все более прочную почву, по мере того как в мышлении все более отдаляются друг от друга фундаментальные понятия и законы, с одной стороны, и те выводы, которые должны быть сопоставлены с опытом, с другой, по мере того, как унифицируется логическая структура, т. е. по мере уменьшения числа логически независимых друг от друга концептуальных элементов, которые оказываются необходимой опорой всей структуры.

Ньютон, основатель первой обширной, работоспособной системы теоретической физики, был еще убежден в том, что основные понятия и законы его системы происходят из опыта. Его слова «*hypotheses non fingo*» можно понять в этом смысле.

Действительно, в то время казалось, что понятия пространства и времени не создавали никаких проблем. Понятия массы, инерции и силы и связанные с ними законы казались взятыми непосредственно из опыта. Раз эта база была принята, то и выражение для силы тяготения казалось выведенным из опыта, и было основание ожидать, что то же самое будет и в отношении других сил.

Правда, из ньютоновских формулировок мы видим, что понятие абсолютного пространства, связанное с понятием абсолютного покоя, доставляло ему неприятное чувство; он понимал, что в опыте, по-видимому, нет ничего, что соответствовало бы этому понятию. Он чувствовал также беспокойство в связи с введением дальнедействующих сил. Но огромный практический успех его учения, по-видимому, воспрепятствовал ему, как и физикам XVIII и XIX веков, признать произвольный характер основ его системы.

Напротив, большинство естествоиспытателей тех времен были проникнуты идеей, что фундаментальные понятия и основные законы физики не были в логическом смысле свободными изобретениями человеческого разума и что они могли быть выведены из экспериментов посредством «абстракций», т. е. логическими средствами. Ясное осознание неправильности этого понимания по существу принесла только общая теория относитель-

ности. Эта теория показала, что на фундаменте понятий, сильно отличающемся от ньютонова, можно соответствующий круг опытов объяснить даже более удовлетворительным и совершенным образом, чем это было возможно на ньютоновой основе. Но совершенно не входя в обсуждение степени превосходства той или другой основы, можно сказать, что их умозрительный характер вполне очевиден из того факта, что мы можем указать на две существенно различные основы, которые обе в высокой степени соответствуют опыту. Во всяком случае это доказывает, что всякая попытка логического выведения основных понятий и законов механики из элементарного опыта обречена на провал.

Если, далее, справедливо, что аксиоматическая основа теоретической физики не может быть извлечена из опыта, а должна быть свободно изобретена, то можем ли мы вообще надеяться найти правильный путь? Более того, не существует ли этот правильный путь только в нашем воображении? Можем ли мы вообще быть уверенными, что опыт — надежный руководитель, если существуют такие теории, как классическая механика, которая широко оправдывается опытом, хотя и не проникает в сущность вещей? Я отвечаю без колебаний, что, по моему мнению, есть правильный путь, и мы в состоянии найти его. Весь предшествующий опыт убеждает нас в том, что природа представляет собой реализацию простейших математически мыслимых элементов. Я убежден, что посредством чисто математических конструкций мы можем найти те понятия и закономерные связи между ними, которые дадут нам ключ к пониманию явлений природы. Опыт может подсказать нам соответствующие математические понятия, но они ни в коем случае не могут быть выведены из него. Конечно, опыт остается единственным критерием пригодности математических конструкций физики. Но настоящее творческое начало присуще именно математике. Поэтому я считаю в известном смысле оправданной веру древних в то, что чистое мышление в состоянии постигнуть реальность.

Чтобы обосновать эту уверенность, я вынужден применить математические понятия. Физический мир представляется в виде четырехмерного континуума. Если я предполагаю в нем риманову метрику и спрашиваю, каковы простейшие законы, которые могут удовлетворить такой метрике, я прихожу к релятивистской теории гравитации для пустого пространства. Если в этом пространстве я предполагаю векторное поле или полученное из него антисимметричное тензорное поле и спрашиваю, каковы простейшие законы, которые могут удовлетворить такому полю, я прихожу к максвелловым уравнениям для вакуума.

У нас нет еще теории для тех частей пространства, в которых плотность электрического заряда не исчезает. Луи де Бройль предположил существование волнового поля, которое должно было объяснить известные квантовые свойства материи. Дирак нашел в спинорах полевые величины по-

вого вида, простейшие уравнения которых позволили вывести общие свойства электронов. Позже, в сотрудничестве с моим коллегой доктором Вальтером Майером, я нашел, что эти спиноры образуют своеобразный вид поля, математически связанного с четырехмерной системой; мы назвали его «полувекторным». Простейшие уравнения, которым такие полувекторы могут удовлетворять, дают нам ключ к пониманию того, почему существуют два вида элементарных частиц с различной тяжелой массой и равным, но противоположным электрическим зарядом. Эти полувекторы являются простейшими после обычных векторов, математическими полевыми образами, которые возможны в метрическом континууме четырех измерений, и это выглядит так, как если бы они естественным образом описывали существенные свойства электрических элементарных частиц.

Для нашего анализа существенно, что все эти образы и их закономерные связи могут быть получены в соответствии с принципом отыскания математически простейших понятий и связей между ними. Число математически возможных простых типов полей и простых уравнений, возможных между ними, ограничено; на этом основана надежда теоретиков на то, что они смогут понять реальность во всей ее глубине.

Наиболее трудным пунктом для развития подобной полевой теории пока является трактовка атомистической структуры вещества и энергии. Дело в том, что эта теория в основе своей не атомистична, поскольку она оперирует исключительно с непрерывными функциями пространства, в противоположность классической механике, наиболее важный элемент которой — материальная точка — уже сам по себе оправдывает атомистическую структуру вещества.

Современная квантовая теория в той ее форме, которая связана с именами де Бройля, Шредингера и Дирака и которая оперирует с непрерывными функциями, преодолела эту трудность путем смелой интерпретации; последняя впервые в ясной форме была дана Максом Борном. Согласно этой интерпретации, пространственные функции, которые встречаются в уравнениях, не претендуют на то, чтобы быть математической моделью атомистического образования. Предполагается, что эти функции позволяют вычислить только вероятности найти такие образования в известном месте или же в известном состоянии движения, когда производятся соответствующие измерения. Это толкование логически свободно от противоречий, и оно дало значительные результаты. Но, к сожалению, оно вынуждает нас использовать континуум, размерность которого не является размерностью пространства, применяемого в физике до сих пор (а именно: четырехмерной); размерность этого континуума неограниченно возрастает вместе с ростом числа частиц, составляющих рассматриваемую систему. Не могу не признаться в том, что я придавал этой интерпретации только преходящее значение. Я все еще верю в возможность построить такую модель реаль-

ности, т. е. такую теорию, которая выражает сами вещи, а не только вероятность их поведения.

С другой стороны, мне кажется несомненным, что мы должны отказаться от идеи точной локализации частиц в теоретической модели. Это кажется мне надежным результатом гейзенберговского соотношения неопределенностей. Но атомистическая теория в собственном смысле слова (а не только на основе интерпретации) в математической модели вполне мыслима и без локализации частиц. Например, чтобы учесть атомистический характер электричества, необходимо из полевых уравнений получить следующий результат: величина электрического заряда в некоторой области трехмерного пространства, на границах которой плотность заряда исчезает повсюду, всегда представляется целым числом. Таким образом, в теории континуума атомистические характеристики могли бы быть удовлетворительно выражены через интегральные законы и без локализации образований, составляющих атомистическую структуру.

Только в том случае, если бы удалось осуществить такое представление атомистической структуры, я считал бы квантовую загадку разрешенной.

Лекция печаталась также в сб. «Mein Weltbild» и «Ideas and Opinions», а в русском переводе — в сб. «Физика и реальность» (стр. 61—66) и в журнале «Успехи физических наук» (1965, 86, 403—407)

НАУКА И ЦИВИЛИЗАЦИЯ*

Каким образом мы можем спасти человечество и его духовные ценности, наследниками которых мы являемся? Каким образом можно спасти Европу от новой катастрофы? Нет никаких сомнений в том, что мировой кризис и связанные с ним страдания и лишения до какой-то степени обусловили то опасное развитие событий, свидетелями которых мы являемся. В такие периоды недовольство порождает ненависть, а ненависть приводит к новым актам насилия, к революции и даже к войне. Таким образом, страдания и зло порождают новые страдания и новое зло. Так же, как и двадцать лет назад, деятели, стоящие во главе государств, взяли на себя огромную ответственность. Пусть же их усилия увенчаются успехом и в Европе, пусть хотя бы на время установится единство и ясное понимание международных обязательств, делающее военную авантюру для любого государства совершенно невозможной. Но усилия государственных деятелей будут успешными лишь при условии, что если их будет поддерживать решительная воля народов.

В связи с этим для нас представляет интерес не только техническая проблема обеспечения и поддержания мира, но и важная задача образования и просвещения. Если мы хотим дать отпор тем силам, которые угрожают подавить личную и интеллектуальную свободы, то следует ясно сознавать, чем мы рискуем и чем мы обязаны той свободе, которую наши предки завоевали для нас в результате упорной борьбы.

Без этой свободы у нас не было бы ни Шекспира, ни Гете, ни Ньютона, ни Пастера, ни Фарадея, ни Листера. У нас не было бы ни удобных жилищ, ни железной дороги, ни телеграфа, ни радио, ни недорогих книг, ни защиты от эпидемий; культура и искусство не служили бы всем. Не было бы машин, освобождающих рабочего от тяжелого труда, связанного с производством продуктов первой необходимости. Большинству людей

* *La Science et la Civilisation. Revue Bleue, littéraire et politique, 1934, 72, 641—642.*

пришлось бы влечить жалкую жизнь рабов, совсем как во времена азиатских деспотов. Только свободные люди могли стать авторами тех изобретений и творений духа, которые на наших глазах признают ценность жизни.

Разумеется, существующие в настоящее время экономические трудности в конце концов приведут к тому, что равновесие между предложением и спросом труда, между производством и потреблением будет регулироваться законом. Но даже эту проблему мы должны решать как свободные люди, и для этого не должны допускать рабства, означającego в конечном счете гибель всякого здорового начала.

В этой связи я хотел бы высказать одну мысль, которая недавно пришла мне в голову. Мне случалось пребывать в одиночестве и быть в обществе, и всюду я замечал, что спокойная жизнь является мощным стимулом для творческого духа. В современном обществе имеется ряд профессий, позволяющих вести уединенный образ жизни и не требующих особых физических или интеллектуальных усилий. Я имею в виду профессии смотрителя маяка или бакенщика. Разве нельзя было бы предоставлять эти посты молодым людям, выразившим желание заняться решением научных проблем, в особенности проблем, касающихся математики и философии? Ведь очень немногие из них имеют возможность полностью посвятить себя научной работе в течение сколько-нибудь продолжительного периода времени. Даже если молодому человеку и удастся раздобыть немного денег, то научными проблемами ему приходится заниматься второпях. Такое положение вещей отнюдь не благоприятно для исследований в области чистой науки. В несколько лучшем положении находится молодой ученый, зарабатывающий на жизнь с помощью какой-нибудь практической специальности, разумеется, если эта его деятельность оставляет достаточно времени и энергии для научной работы. Может быть, мое предложение позволило бы многим творческим умам подняться до таких достижений в области науки, которые невозможны для них в настоящее время. В переживаемые нами времена экономической депрессии и политических неурядиц высказанные выше соображения достойны того, чтобы на них обратить внимание.

Стоит ли сожалеть о подобном образе жизни во времена опасности и нищеты? Думаю, что стоит.

Подобно другим животным, человек по своей природе апатичен. Если бы не было необходимости, то он бы не думал, а действовал бы как автомат, по привычке. Я уже немолод и, следовательно, имею право утверждать, что в детстве и юности я прошел подобную фазу — фазу, во время которой молодой человек занят исключительно мелочами своего собственного существования, хотя внешне он разговаривает так же, как его товарищи, и ничуть не отличается от них своим поведением. Разгадать его подлинную сущность, скрывающуюся за привычной маской, очень труд-

но; в самом деле, из-за такого способа действий и языка его истинное лицо оказывается как бы спрятанным под толстым слоем ваты.

В настоящее время все обстоит иначе. В луче света, прорвавшемся к нам в это грозное время, сущность людей и вещей предстает перед нами в своем неприкрытом виде. В каждом человеке, в каждой поступке мы отчетливо различаем цели, сильные и слабые стороны и страсти, движущие или вызываемые ими. В условиях столь быстро изменяющейся обстановки привычные сложившиеся отношения уже не дают никаких преимуществ: условности отмирают, как созревшие плоды.

В условиях разразившейся катастрофы люди пытаются ослабить экономический кризис и рассмотреть вопрос о необходимости наднациональных политических организаций. Лишь ценой падений и взлетов нации могут продолжать свое развитие. Если бы тревоги, переживаемые нами, завершились созданием лучшего мира! Мы должны выполнить еще один долг, более высокий, чем решение проблем нашей эпохи: сохранить те из наших благ, которые носят наиболее возвышенный и непреходящий характер, благ, наполняющих смыслом нашу жизнь, благ, которые мы хотим передать нашим детям в более прекрасном и чистом виде, чем получили их от наших предков.

Эта речь была произнесена 3 октября в Лондоне на митинге, посвященном сбору средств для комитета помощи беженцам. Председательствовал Э. Резерфорд. Сообщение о митинге было помещено в газете «Times» от 4 октября 1933 г.

ПАМЯТИ ПАУЛЯ ЭРЕНФЕСТА*

В наши дни люди с выдающимися качествами так часто кончают жизнь самоубийством, что мы уже не видим в этом ничего необычного. Но решение расстаться с жизнью проистекает, вообще говоря, из неспособности (а иногда и из отвращения) приспособиться к новым и более трудным *внешним* условиям. Отказ прожить жизнь до естественного конца вследствие нестерпимых внутренних конфликтов — редкое сегодня событие среди людей со здоровой психикой; иное дело среди личностей возвышенных и в высшей степени возбудимых душевно. Такой внутренний конфликт привел к кончине нашего друга Пауля Эренфеста. Те, кто были знакомы с ним так же хорошо, как было дано мне, знают, что эта чистая личность пала жертвой главным образом такого конфликта совести, от которого в той или другой форме не гарантирован ни один университетский профессор, достигший пятидесятилетнего возраста.

Мы познакомились 25 лет тому назад. Он посетил меня в Праге, куда приехал прямо из России; как еврей, он был лишен там возможности преподавать в высших учебных заведениях. Поэтому он искал себе поле деятельности в Центральной или Западной Европе. Но об этом мы говорили мало, потому что состояние науки того времени поглотило почти все наши беседы. Мы оба отдавали себе отчет, что классическая механика и теория электрического поля оказались недостаточными для объяснения явлений теплового излучения и молекулярных процессов (статистическая теория); не создавалось впечатления, чтобы Эренфест видел путь выхода из этого положения. Логическая брешь в планковской теории излучения, которой мы тем не менее восхищались, была для нас очевидной. Мы обсуждали также теорию относительности, которую он воспринял хотя и несколько скептически, но отдавая ей должное со свойственной ему

* *Nachruf Paul Ehrenfest*. В кн.: «Almanak van het Leidsche Studencorps». Leiden — Doesburg, 1934.

способностью критического суждения. За несколько часов мы стали настоящими друзьями, будто наши чаяния и мечты были одинаковыми. Нас соединила тесная дружба, продолжавшаяся до его смерти.

Его величие заключалось в чрезвычайно хорошо развитой способности улавливать самое существо теоретического понятия и настолько освободить теорию от ее математического наряда, чтобы лежащая в ее основе простая идея проявлялась со всей ясностью. Эта способность позволяла ему быть бесподобным учителем. По этой же причине его приглашали на научные конгрессы, ибо в обсуждения он всегда вносил изящество и четкость. Он боролся против расплывчатости и многословия; при этом пользовался своей пронизательностью и бывал откровенно неучтив. Некоторые его выражения могли быть истолкованы как высокомерные, но его трагедия состояла именно в почти болезненном неверии в себя. Он постоянно страдал от того, что у него способности критические опережали способности конструктивные. Критическое чувство обкрадывало, если так можно выразиться, любовь к творению собственного ума даже раньше, чем оно зарождалось.

Вскоре после нашей первой встречи в карьере Эренфеста произошел решительный поворот. Наш высокочтимый наставник Лоренц, желая удалиться от систематического чтения лекций в университете и видя в Эренфесте вдохновенного учителя, рекомендовал его в качестве своего преемника. Перед ним, еще молодым, открылось замечательное поле деятельности. Он не только был самым лучшим профессором из людей нашей профессии, которого я знал, но его страстно занимали становление и судьба людей, особенно его студентов. Понимать других, завоевать их дружбу и доверие, помогать тому, кто был стеснен внешней или внутренней борьбой, ободрять молодые таланты — все это было его истинным призванием, даже больше чем углубление научных вопросов. В Лейдене его любили и уважали студенты и коллеги. Они знали его абсолютную преданность делу преподавания и постоянную готовность прийти на помощь. Не должен ли он был быть счастливым человеком?

На самом деле он был несчастнее всех бывших мне близкими людей. Причина состояла в том, что он не чувствовал себя на уровне той высокой задачи, которую должен был выполнять. Чем помогало ему всеобщее уважение? Его постоянно терзало объективно необоснованное чувство несовершенства, часто лишавшее его душевного покоя, столь необходимого для того, чтобы вести исследования. Он так страдал, что был вынужден искать утешения в развлечениях. Частые беспельные путешествия, увлечение радио и многие другие черты его тревожной жизни происходили не от потребности покоя или безвредных маний, а скорее от странной и настойчивой потребности к бегству, вызванной психическим конфликтом, о котором мы говорили.

В последние годы это состояние обострилось из-за удивительно бурного развития теоретической физики. Всегда трудно преподавать вещи, которые сам не одобряешь всем сердцем; это вдвойне трудно фанатически чистой душе, для которой ясность — все. К этому добавлялась все возрастающая трудность приспособляться к новым идеям, трудность, которая всегда подстерегает человека, перешагнувшего за пятьдесят лет. Не знаю, сколько читателей этих строк способны понять эту трагедию. Но все-таки она была главной причиной его бегства из жизни.

Мне кажется, что тенденция чрезмерно критиковать самого себя связана с впечатлениями детства. Умственное унижение и угнетение со стороны невежественных эгоистичных учителей производит в юной душе опустошения, которые нельзя загладить и которые оказывают роковые влияния в зрелом возрасте. О силе такого впечатления у Эренфеста можно судить по тому, что он отказался доверить какой-нибудь школе своих нежно любимых детей.

Большую, чем у большинства людей, роль сыграли в жизни Эренфеста его отношения с друзьями. Его симпатии и антипатии, основанные на суждениях морального порядка, фактически властвовали над ним. Самой сильной привязанностью в его жизни была жена и помощница, личность исключительно сильная и смелая, равная ему по интеллекту. Возможно, что ее ум не был столь проворным, гибким и чувствительным, как его собственный, но ее уравновешенность, независимость, стойкость перед трудностями, цельность мысли, чувства и действия были для него благодеянием, за которое он платил обожанием и любовью, какую мне не часто приходилось видеть в жизни. Случайная отчужденность между ними была страшным экспериментом, против которого его раненая душа была уже неспособна бороться.

Мы, чьи жизни обогащались силой и цельностью его ума, доброжелательностью и теплотой его щедрой души и в не меньшей мере его юмором и сарказмом, знаем, что потеряли с его смертью. Он продолжает жить в своих студентах и в тех, чьи помыслы направлял.

Напечатано также в сб.: A. E i n s t e i n, [Out of My later Years, (236—239), под названием «Paul Ehrenfest in Memorial». Русский перевод включен в сб. «Физика и реальность».

ПАМЯТИ МАРИИ КЮРИ *

Сейчас, когда завершилась жизнь такой выдающейся личности, как мадам Кюри, нельзя ограничиваться воспоминанием только о том, что дали человечеству плоды ее творчества. Моральные качества выдающейся личности имеют, возможно, большее значение для данного поколения и всего хода истории, чем чисто интеллектуальные достижения. Последние зависят от величия характера в значительно большей степени, чем это обычно принято считать.

К моему великому счастью, в течение двадцати лет мы были связаны с мадам Кюри возвышенной и безоблачной дружбой. Мое восхищение ее человеческим величием постоянно росло. Сила ее характера, чистота помыслов, требовательность к себе, объективность, неподкупность суждений — все эти качества редко совмещаются в одном человеке. Она в любой момент чувствовала, что служит обществу, и ее большая скромность не оставляла места для самолюбования. Ее постоянно угнетало чувство жестокости и несправедливости общества. Именно это придавало ей вид внешней строгости, так легко неправильно понимаемой теми, кто не был к ней близок, — странной строгости, не смягченной каким-либо искусственным усилием.

Наиболее выдающийся подвиг всей ее жизни — доказательство существования радиоактивных элементов и их получение — обязан своим осуществлением не только смелой интуиции, но и преданности делу, упорству в выполнении работы при самых невероятных трудностях, что не часто встречается в истории экспериментальной науки.

Если бы европейские интеллигенты обладали даже небольшой частью силы характера мадам Кюри и ее преданности делу, Европу ждало бы более блестящее будущее.

* *Tribute to Marie Curie*. New York Times, 15 Apr. 1934. Русский перевод напечатан в сб. «Физика и реальность».

ПРЕДИСЛОВИЕ К КНИГЕ Л. ИНФЕЛЬДА „МИР В СВЕТЕ СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ“ *

Чем более тонкой и специализированной становится наука, тем сильнее чувствуется необходимость постичь ее существенные черты наглядно и легко, без технического аппарата. Но может возникнуть сомнение: что останется от физики, если лишить ее всех математических средств?

Последующее изложение Л. Инфельдом физики материи служит живым ответом современности на этот вопрос. Оно написано самостоятельно мыслящим молодым ученым, который активно и страстно переживает духовную борьбу в этой области. Каждый интеллигентный человек, даже неспециалист, может глубоко проникнуть в современные физические проблемы. Эта драма вызывает у жаждущего понимания читателя не менее напряженное внимание, чем увлекательный роман.

Но и ученый получит кое-что из такой книги. Он с удовольствием увидит живое отражение проблем, которые его мучают, раскрытое просто, без больших подробностей, но все же достаточно ясно. Испытываешь радостное и вдохновляющее чувство, видя проблему изложенной кратко и живо во всем ее разнообразии и во всех ее связях.

Русский перевод включен в сб. «Физика и реальность».

* *Introduction.* В кн.: L. I n f e l d. The World in Modern Science. London, 1935.

ПАМЯТИ ДЕ СИТТЕРА *

Профессор де Ситтер был одним из наиболее выдающихся ученых в области астрономии. Кроме того, он внес важный вклад в теорию относительности. Например, с помощью спектроскопических наблюдений за двойными звездами он показал, что скорость света не зависит от динамического состояния источника света. Де Ситтер внес значительный вклад в решение важной космологической проблемы о структуре пространства в теории относительности. Его смерть является тяжелой утратой для астрономии и всей научной жизни Голландии.

Принстон, Нью Джерси, 21 ноября

* New York Times, 22 November 1934.

**РЕЦЕНЗИЯ НА КНИГУ Р. ТОЛМЕНА
„ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ, ТЕРМОДИНАМИКА
И КОСМОЛОГИЯ“***

Книга Толмена представляет собой правильное, обстоятельное и ясное изложение всего содержания специальной и общей теории относительности. При этом автор, обладающий острым, критическим умом, ограничил себя феноменологическим изложением, опустив многочисленные попытки объяснить с помощью методов теории относительности связь с электромагнитным полем и строение материи. Это кажется вполне оправданным, потому что ни одна из этих попыток, отличающихся друг от друга коренным образом, не привела до сих пор к убедительным результатам. Не учтены в книге и попытки релятивистской трактовки квантовой теории; как известно, они пока привели только к частичным результатам. Таким путем автору удалось, по моему мнению, дать систематическое изложение тех методов и результатов теории относительности, которые должны, как это кажется сейчас, войти в любую будущую теорию, способную глубже проникнуть в механизм происходящего.

Особенно тщательно рассмотрены те разделы, в методическом построении которых автор сам принял видное участие: релятивистское изложение термодинамики и так называемая космологическая проблема, т. е. изучение структуры пространственно-временного континуума в целом, без учета пространственной неравномерности распределения (астрономического) материи в космосе. В связи с космологической проблемой следует сделать одно замечание, относящееся не только к этой книге, но и ко всем новым публикациям по этому вопросу: введение космологического члена в уравнения «поля» казалось необходимым, пока вынуждены были считать, что средняя плотность материи, и соответственно энергии, в мире не зависит от времени. Но с формально-теоретической точки зрения введение такого члена является чистым произволом. С тех пор, как стало известно о расширении звездной системы, для его введения нет ни логических, ни фи-

* [Review of] R. Tolmen. Relativity, Thermodynamics and Cosmology. Oxford, 1934, Science, 1935, 80, 358.

вических доводов. Поэтому при рассмотрении космологической проблемы представляется естественным отказаться от введения Λ -члена до тех пор, пока для этого введения не появятся опытные основания.

Особенно ценным в книге Толмена я нахожу исчерпывающее изложение предсказанных теорией закономерностей в туманностях, так как именно они, в первую очередь, кажутся предназначенными для пополнения наших знаний о строении пространственно-временного континуума.

Русский перевод включен в сб. «Физика и реальность».

ПАМЯТИ ЭММИ НЕТЕР*

Большинство людей все свои силы расходуют в борьбе за свой хлеб насущный. Даже многие из тех, кого судьба или какое-либо особое дарование избавили от необходимости вести эту борьбу, большую часть сил отдают умножению мирских благ и своего состояния. За подобными усилиями, направленными к накоплению всяческих благ, весьма часто кроется иллюзия, будто в этом и состоит наиболее существенная и желанная цель, к которой надлежит стремиться. К счастью, существует меньшинство, состоящее из тех, кто рано осознал, что самые прекрасные переживания и наибольшее удовлетворение человечество получает не извне, а что они связаны с развитием собственных чувств, мыслей и поступков каждого отдельного индивидуума. Подлинные художники, исследователи и мыслители, всегда были людьми такого рода. Как бы незаметно ни проходила жизнь этих людей, плоды их усилий оказывались самым драгоценным вкладом в то наследство, которое поколение оставляет своим преемникам.

Несколько дней тому назад в возрасте пятидесяти трех лет скончалась выдающийся математик профессор Эмми Нетер, когда-то связанная с Геттингенским университетом, а в последние два года работавшая в колледже Брин Моур. По отзывам наиболее компетентных из ныне живущих математиков, фрейлейн Эмми Нетер входила в число самых значительных и самых творческих гениев математики, появившихся с тех пор, как женщины стали получать высшее образование. В области алгебры, которой наиболее одаренные математики занимались на протяжении столетий, она открыла методы, оказавшие огромное влияние на развитие современного поколения молодых математиков. Чистая математика — это своего рода поэзия логики идей. Математики пытаются найти как можно более общее представление об операции, которое позволило бы просто, логично и единообразно охватить возможно более широкий круг формальных соот-

* *The late Emmy Noether. New York Times, 4 May 1935. (Письмо редактору.)*

ношений. Стремясь достичь идейного, логического изящества, они открыли формулы, необходимые для более глубокого проникновения в законы природы.

Эмми Нетер родилась в еврейской семье, отличавшейся своей любовью к познанию, из-за своего происхождения она не смогла занять в своей стране подобающего ей академического положения, несмотря на все усилия великого геттингенского математика Гильберта. Все же ей удалось собрать вокруг себя в Геттингене группу студентов и исследователей, уже получивших признание и как научные работники, и как преподаватели. Ее собственная бескорыстная огромная по объему работа, которую она вела на протяжении многих лет, была отмечена новыми правителями Германии ее отставкой, что означало для Нетер потерю всяких средств для поддержания жизни и возможности продолжения математических исследований. Предусмотрительные друзья науки в США сумели, к счастью, подыскать для нее место в колледже Брин Моур и в Принстоне, где она вплоть до своей кончины находила не только коллег, дороживших ее дружбой, но и благодарных учеников, чей энтузиазм сделал последние годы ее жизни самыми счастливыми и, наверно, самыми плодотворными за всю ее трудовую жизнь.

Принстон, 1 мая 1935.

ФИЗИКА И РЕАЛЬНОСТЬ *

§ 1. Общие соображения о методе науки

Часто и, конечно, не без основания говорят, что естествоиспытатели — плохие философы. Не казалось ли бы тогда естественным, чтобы физик предоставил заботы о философствовании философу? Так на самом деле и надо было поступать в те времена, когда физик верил, что он располагает прочной системой законов и основных понятий, установленных настолько твердо, что волны сомнений не могли их касаться. Но это уже перестало быть справедливым в такую эпоху как наша, когда проблематичными стали даже самые основы физики. В настоящее время, следовательно, когда эксперимент заставляет нас искать новый и более солидный фундамент, физик уже не может просто уступить философу право критического рассмотрения теоретических основ; он, безусловно, лучше знает и чувствует, в чем слабые стороны этой основы. В поисках нового фундамента он должен стараться полностью понять, до какого предела используемые им понятия обоснованы и необходимы.

Вся наука является не чем иным, как усовершенствованием повседневного мышления. Поэтому критический ум физика не может ограничиваться рассмотрением понятий только его собственной области. Он не может двигаться вперед без критического рассмотрения значительно более сложной проблемы: анализа природы повседневного мышления.

В нашем подсознании проходит вереница воспринятых опытов, сохраняющихся в памяти картин, представлений и ощущений. В противоположность психологии физика непосредственно рассматривает только ощущения, чувственные восприятия, пытаясь «понять» связи между ними. Само понятие нашего повседневного мышления о «реальном внешнем мире» также опирается исключительно на чувственные восприятия.

Прежде всего мы должны отметить, что нельзя отличить чувственные восприятия от представлений или, по крайней мере, нельзя это сделать с абсолютной уверенностью. Мы не хотим вступать в обсуждение этой про-

* *Physik und Realität*. Journ. Franklin Institut, 1936, 221, 313—347 (немецкий текст) и 349—382 (английский текст).

блемы, которая также касается понятия реальности, но будем считать чувственный опыт как данный, т. е. как физический опыт особого рода.

Я думаю, что первым шагом в познании «реального внешнего мира» является формирование понятия телесных объектов, причем телесных объектов разного рода. Из всего многообразия наших чувственных восприятий мы мысленно выделяем и произвольно берем определенные комплексы ощущений, которые часто повторяются (частично вместе с чувственными впечатлениями, интерпретируемыми как проявления ощущений других лиц), и сопоставляем им некоторое определенное понятие — понятие телесных объектов. С логической точки зрения это понятие не тождественно совокупности ощущений, к которому оно относится; это — свободное творение человеческого (или животного) разума. С другой стороны, смысл понятия и его оправданность определяются совокупностью ощущений, которые мы ассоциируем с ним.

Второй шаг состоит в том, что в нашем мышлении (которое определяет наше ожидание) мы приписываем понятию телесного объекта смысл, который еще в большей мере независим от чувственного ощущения, первоначально его породившего. Именно это мы хотим выразить, когда приписываем телесному объекту «реальное существование». Оправдание такого утверждения основано исключительно на том факте, что с помощью таких понятий и установленных между ними мысленных отношений мы способны ориентироваться в лабиринте ощущений. Эти понятия и отношения, несмотря на то, что они являются свободными творениями нашего ума, представляются нам более прочными и нерушимыми, чем даже сами по себе отдельные чувственные восприятия, характер которых никогда не позволяет полностью гарантировать, что они не являются результатом иллюзии или галлюцинации. С другой стороны, эти понятия и отношения, в особенности допущение существования реальных объектов и, вообще говоря, существование «реального мира», оправданы только в той мере, в какой они связаны с чувственными восприятиями, между которыми они образуют мысленную связь.

Сам факт, что совокупность наших чувственных восприятий с помощью мышления (оперирование понятиями, создание и использование определенных функциональных соотношений между ними, сопоставление чувственных восприятий этим понятиям) может быть приведена в порядок, является, по-моему, поразительным, и мы никогда его не поймем. Мы можем сказать, что «вечная загадка мира — это его познаваемость». Одна из больших заслуг Канта состоит в том, что он показал бессмысленность утверждения о реальности внешнего мира без этой познаваемости.

Когда мы говорим о «познаваемости», то смысл этого выражения совсем прост. Оно включает в себя приведение в определенный порядок чувствен-

ных восприятий путем создания общих понятий, установление соотношений между этими понятиями, и между последними и чувственным опытом; эти соотношения устанавливаются всеми возможными способами. В этом смысле мир нашего чувственного опыта познаваем. Сам факт этой познаваемости представляется чудом.

По моему мнению, нельзя ничего утверждать априори относительно способа, с помощью которого должны быть образованы и связаны между собой эти понятия и как мы должны сопоставлять их чувственному опыту. Определяющим фактором, направляющим создание такого порядка в чувственном опыте, является только конечный успех. Все, что необходимо, это *установление* ряда правил, так как без таких правил познание в указанном смысле было бы невозможно. Эти правила можно сравнить с правилами игры, которые, будучи произвольными, делают игру возможной только благодаря своей строгости. Но такая фиксация никогда не может быть окончательной. Они будут справедливы только для определенной области их применения (т. е. они не являются окончательными категориями в смысле Канта).

Связь между элементарными понятиями повседневного мышления и комплексами чувственного опыта можно понять только интуитивно, ее нельзя подогнать под научную или логическую схему. Совокупность этих связей, — ни одну из которых нельзя выразить на языке понятий, — единственное, что отличает великое здание науки от логической, но пустой системы понятий. С помощью этих связей чисто абстрактные теоремы становятся утверждениями, относящимися к комплексам чувственных ощущений.

Назовем «первичными» те понятия, которые непосредственно и интуитивно связаны с типичными комплексами чувственных ощущений. Все остальные понятия с физической точки зрения обладают смыслом только в той мере, в какой теоремы связывают их с первичными понятиями. Эти теоремы представляют собой частично определения понятий (и логически выведенные из них утверждения), частично — теоремы, которые нельзя вывести из определений, но которые по крайней мере косвенно выражают соотношения между «первичными понятиями», и, тем самым, — между чувственными восприятиями. Теоремы этого последнего рода являются «утверждениями относительно реальности» или «законами природы», т. е. теоремами, которые должны показать свою полезность, когда они применяются к чувственным восприятиям, охватывающим первичные понятия. Вопрос о том, какие теоремы должны считаться определениями, а какие — законами природы, зависит в большой мере от выбранных представлений. В действительности, установление этого различия становится совершенно необходимым только при определении того, не является ли вся система понятий с физической точки зрения бессодержательной.

Расслоение научной системы

Целью науки является, с одной стороны, возможно более *полное* познание связи между чувственными восприятиями в их совокупности и, с другой стороны, достижение этой цели путем *применения минимума первичных понятий и соотношений* (добываясь, насколько это возможно, логического единства в картине мира, т. е. стремясь к минимуму логических элементов).

Наука занимается совокупностью первичных понятий, т. е. понятий, непосредственно связанных с чувственными восприятиями, и теоремами, устанавливающими связь между ними. На первой стадии своего развития наука не содержит ничего другого. Короче говоря, наше повседневное мышление удовлетворено этим уровнем. Но такое состояние вещей не может удовлетворять истинно научный интеллект, потому что совокупность понятий и полученных таким образом соотношений лишена логического единства. Чтобы устранить этот недостаток, изобретают систему с меньшим числом понятий и соотношений, систему, в которой первичные понятия и соотношения «первого слоя» сохраняются в качестве производных понятий и соотношений. Эта новая, «вторичная система», которая характеризуется большим логическим единством, содержит зато только такие собственные элементарные понятия (понятия второго слоя), которые прямо не связаны с комплексами чувственных ощущений. Продолжая усилия для достижения логического единства, мы приходим, как следствие вывода понятий и соотношений второго слоя (и косвенно — первого слоя), к третьей системе, еще более бедной первичными понятиями и соотношениями. Эта история будет продолжаться до тех пор, пока мы не достигнем наибольшего мыслимого единства и наименьшего числа понятий в логической основе, которое еще совместимо с наблюдениями наших чувств. Мы не знаем, приведет это стремление или нет к определенной системе. Если поинтересуются нашим мнением, то мы склонны ответить отрицательно. Однако, преодолевая эти трудности, мы никогда не оставим надежду, что эта величайшая из всех целей действительно может быть достигнута с очень высоким приближением.

Сторонник абстрактного метода или индукции может назвать наши слои «степенями абстракции», но я не считаю правильным скрывать логическую независимость понятия от чувственного восприятия. Отношение между ними аналогично не отношению бульона к говядине, а скорее — отношению гардеробного номера к пальто.

Впрочем, слои не разделены четко. Также не совсем ясно, какие понятия относятся к первичному слою. Надо сказать, что мы имеем дело со свободно образованными понятиями, которые с достаточной для практического использования достоверностью интуитивно связаны с чувственными

восприятиями так, что для каждого конкретного опыта не возникает сомнений в справедливости высказанных утверждений. Существенное состоит в стремлении представить в близкой связи с опытом множество понятий и теорем как теоремы, выведенные логически из возможно более узкого круга свободно выбираемых фундаментальных понятий и соотношений (аксиом). Но свобода выбора здесь — все-таки особого рода. Она непохожа на свободу пишущего роман, а скорее похожа на свободу человека, обязанного решать хорошо составленный кроссворд. Он, собственно говоря, может предложить любое слово в качестве решения, но только *одно* слово действительно решает кроссворд во всех его частях. То, что природа — в том виде, в котором она воспринимается нашими пятью чувствами, — принимает характер красивой загадки, является делом убеждения. Успехи, достигнутые наукой до сих пор, дают, правда, определенную поддержку этому убеждению.

Множественность слоев, о которых говорилось выше, соответствует разным стадиям прогресса, являющегося результатом борьбы за единство в ходе развития науки. Но по отношению к конечной цели промежуточные слои имеют лишь временный характер. В конечном счете они должны исчезнуть, как не имеющие прямой отношения к делу. Однако мы должны заниматься современной наукой, где эти слои отражают отдельные, частично проблематичные успехи, которые, с одной стороны, подтверждают друг друга, но, с другой — угрожают друг другу, ибо современная система понятий содержит глубоко укоренившиеся противоречия, с которыми мы позже встретимся.

Целью последующего изложения будет показать, какими путями создающий разум человека добивается создания фундамента физики, который является логически настолько единообразным, насколько это оказалось возможным.

§ 2. Механика и попытки основать на ней всю физику

Важным свойством нашего чувственного опыта и вообще всего нашего опыта является его последовательность во времени. Этого рода последовательность приводит к мысленному представлению о субъективном времени, как некоторой схеме для упорядочения нашего опыта. Как мы увидим позже, субъективное время приводит затем, через понятия телесного объекта и пространства, к понятию объективного времени.

Понятию объективного времени все же предшествует понятие пространства, а последнему — понятие телесного объекта. Последнее непосредственно связано с комплексами чувственных восприятий. Уже показано, что характерное свойство понятия «телесного объекта» состоит в том, что ему

можно приписать существование, независимое от времени (субъективного) и от его воспринимаемости нашими чувствами. Мы это делаем, хотя и наблюдаем его изменение во времени. Пуанкаре правильно настаивал на том, что мы различаем двоякого рода изменения телесного объекта: «изменения состояния» и «изменения положения». Последние, говорил он, могут регулироваться произвольным движением нашего тела.

Существование предметов, которым в определенной сфере ощущений нельзя приписывать никаких изменений состояния, а только изменения положения, является фактом фундаментального значения для формирования понятия пространства (в определенной степени даже для обоснования понятия телесного объекта). Мы будем называть такой предмет «практически твердым».

Если в качестве объекта ощущения рассматриваются одновременно, т. е. просто как целое, два практически твердых тела, то для этого ансамбля существуют изменения, которые нельзя считать изменениями положения ансамбля, хотя для каждого из составляющих они являются таковыми. Это ведет к понятию «изменения относительного положения» двух предметов, а также к понятию их «относительного положения». Мы находим, впрочем, что среди относительных положений имеется одно особого рода, которое мы называем «контактом»¹.

Постоянный контакт двух тел в трех или более «точках» означает, что они соединены в сложное квазитвердое тело. Можно говорить, что второе тело образует тогда продолжение (квазитвердое) первого и, в свою очередь, может быть продолжено квазитвердо. Возможность квазитвердого продолжения тела не ограничена. Истинной сущностью мысленного квазитвердого продолжения тела B_0 является определяемое им бесконечное «пространство».

Тот факт, что каждый любым образом расположенный телесный объект может быть приведен в контакт с квазитвердым продолжением определенным образом выбранного тела B_0 (тела отсчета), является, по-моему, эмпирической основой нашего понятия о пространстве. В донаучном мышлении роль B_0 и его продолжения играла твердая кора Земли. Само название геометрии указывает, что понятие пространства психологически связано с Землей как неподвижным телом.

Смелое введение понятия «пространства», предшествующее всей научной геометрии, превращает наше мысленное понятие соотношения положений предметов в понятие о положении этих телесных предметов в «пространстве». Это представляет собой большое формальное упрощение. С помощью

¹ Это в природе вещей, что мы не можем говорить об этих вопросах иначе, чем с помощью созданных нами понятий, которые недоступны определению. Тем не менее существовало, чтобы мы пользовались только понятиями, соответствие которых нашему опыту находится вне сомнений.

понятия пространства достигается, между прочим, такая ситуация, когда каждое описание положения рассматривается как описание контакта; утверждение: точка телесного предмета, расположенная в некоторой точке пространства P , означает, что предмет касается точки P тела отсчета типа B_0 (предполагаемого приблизительно продолженным) в рассматриваемой точке.

В греческой геометрии пространство играло только качественную роль, потому что хотя положение тела в пространстве безусловно считалось заданным, оно не описывалось числами. Декарт первым ввел этот метод. На его языке все содержание эвклидовой геометрии могло быть аксиоматически основано на следующих утверждениях: 1) две фиксированные точки твердого тела определяют некоторое расстояние; 2) точкам пространства можно сопоставить тройки чисел x_1, x_2, x_3 таким образом, что для каждого расстояния $P'—P''$, крайние точки которого имеют координаты x'_1, x'_2, x'_3 и x''_1, x''_2, x''_3 , выражение

$$s^2 = (x''_1 - x'_1)^2 + (x''_2 - x'_2)^2 + (x''_3 - x'_3)^2$$

не зависит от положения данного тела и положения всех остальных тел.

Это число s (положительное) означает длину отрезка, или расстояние между точками пространства P' и P'' (которые совпадают с точками P' и P'' прямой).

Формулировка намеренно так выбрана, что она ясно выражает не только логическое и аксиоматическое, но и эмпирическое содержание эвклидовой геометрии. Правда, чисто логическое (аксиоматическое) представление последней обладает большей простотой и ясностью. Но зато оно вынуждено отказаться от представления связи между идеальным построением и чувственным восприятием, а ведь значение геометрии для физики базируется только на этой связи. Фатальная ошибка, что в основе эвклидовой геометрии и связанного с ней понятия пространства лежали потребности мышления, обусловлена тем, что эмпирическая основа, на которую опирается аксиоматическое построение эвклидовой геометрии, была предана забвению.

В той мере, в которой можно говорить о существовании в природе твердых тел, эвклидова геометрия должна считаться физической наукой, польза которой должна быть показана ее применением к чувственному восприятию. Она касается совокупности законов, которые должны быть действительны для относительных положений твердых тел независимо от времени. Мы видим, что физическое понятие пространства в том виде, в котором оно применялось первоначально в физике, также связано с существованием твердых тел.

С точки зрения физики существенное значение эвклидовой геометрии состоит в том, что ее законы не зависят от специфической природы тел, относительные положения которых она изучает. Ее формальная простота

характеризуется свойствами однородности и изотропности (и существованием самих таких свойств).

Понятие пространства, правда, полезно, но не необходимо для собственно геометрии, т. е. для формулировки правил, касающихся относительных положений твердых тел. В противоположность этому понятие объективного времени, без которого невозможно формулировать основные принципы классической механики, связано с понятием пространственного континуума.

Введение объективного времени содержит в себе два независимых друг от друга утверждения.

1. Введение местного объективного времени, связывающего последовательность опытов во времени с показаниями «часов», т. е. с замкнутой системой периодических событий.

2. Введение понятия объективного времени для событий во всем пространстве; только благодаря этому понятию идея местного времени расширяется, становясь идеей о времени в физике.

Замечание, относящееся к первому утверждению. То обстоятельство, что понятие периодического процесса предшествует понятию времени, когда занимаются выяснением происхождения и эмпирического содержания понятия времени, не является, на мой взгляд, «логической ошибкой». Такая концепция соответствует в точности приоритету понятия твердого (или квазитвердого) тела при трактовке понятия пространства.

Дополнительное разъяснение ко второму утверждению. Господствовавшая до появления теории относительности иллюзия, что с точки зрения опыта смысл одновременности пространственно разделенных событий, а следовательно, смысл времени в физике ясен, априори, происходила от того, что в нашем повседневном опыте мы могли пренебрегать временем распространения света. Для такого рассуждения мы привыкли пренебрегать различием между «одновременно увиденным» и «одновременно наступившим», в результате чего стирается разница между временем и местным временем.

Неточность, приписываемая эмпирической точкой зрения понятию времени в классической механике, маскируется аксиоматическим представлением пространства и времени как сущностей, независимых от наших чувств. Такое использование понятий, когда они рассматриваются независимо от эмпирической основы, которой они обязаны своим существованием, не всегда является вредным в науке. Но если думать, что эти понятия, происхождение которых забыто, являются необходимыми и неизбежными слутниками нашего мышления, то это будет ошибкой, которая может стать серьезной опасностью для прогресса науки.

Было счастливой случайностью для развития механики, а следовательно, и для развития физики вообще, что философы прошлого при эмпириче-

ской интерпретации понятия объективного времени не вскрыли отсутствия в нем точности. Полные уверенности в реальной значимости построения пространства — времени, они установили фундамент механики, который мы схематически охарактеризуем так:

(а). Понятие материальной точки: телесный объект, который в отношении своего положения и движения может быть с достаточной точностью описан точкой с координатами x_1, x_2, x_3 . Описание его движения (относительно «пространства» B_0) путем задания x_1, x_2, x_3 как функций времени.

(б). Закон инерции: исчезновение компонент ускорения для материальной точки, достаточно удаленной от всех остальных точек.

(с). Закон движения (для материальной точки): сила = масса \times ускорение.

(д). Закон сил (действие и противодействие между материальными точками).

Здесь (б) является не чем иным, как важным частным случаем (с). Истинная теория существует только тогда, когда заданы законы сил. Для того чтобы система точек, связанных друг с другом постоянным образом, могла вести себя как материальная точка, силы должны подчиняться в первую очередь закону равенства действия и противодействия.

Эти фундаментальные законы вместе с законом Ньютона для силы тяготения образуют основу механики небесных тел. В этой механике Ньютона, в противоположность указанным выше понятиям пространства, происходящим от твердых тел, пространство B_0 входит в форме, которая содержит новую идею: требования (б) и (с) справедливы (при заданном законе силы) не для всего пространства B_0 , а только для некоторого B_0 с близкими условиями движения (инерциальной системы). Вследствие этого координатное пространство приобрело одно независимое физическое свойство, которое не содержалось в понятии чисто геометрического пространства, — обстоятельство, которое представило уму Ньютона обширную тему для размышлений (опыт с ведром)².

Классическая механика является лишь общей схемой; она становится теорией только после явного указания закона сил (д), что с таким успехом было сделано Ньютоном для небесной механики. Но чтобы достигнуть наибольшей логической простоты фундамента, этот теоретический метод неудовлетворителен в том смысле, что законы сил не могут быть получены логическими и точными соображениями, потому что априори их вы-

² Этот недостаток теории мог быть устранен только такой формулировкой механики, которая была бы действительна во всем B_0 . Это был один из шагов, которые привели к общей теории относительности. Другой недостаток, также устраненный введением общей теории относительности, состоял в том, что механика сама по себе не дает основания для равенства тяжелой и инертной масс материальной точки. (Ср. примечание на стр. 227.— *Ред.*)

бор в значительной степени произволен. Даже закон силы тяготения Ньютона отличается от других мыслимых законов силы только своей *результативностью*.

Хотя мы сегодня определенно знаем, что классическая механика недостаточна, чтобы служить фундаментом для всей физики, она всегда находится в центре всего мышления в физике. Причина состоит в том, что, несмотря на значительный прогресс, достигнутый со времен Ньютона, мы еще не пришли к новому фундаменту физики, который позволил бы нам быть уверенными, что вся совокупность исследованных явлений и частично увенчанных успехом теоретических систем сможет быть из него логически выведена. Ниже попытаюсь описать, в чем состоит проблема.

Во-первых, мы должны отдавать себе отчет, до какого предела система классической механики проявила себя способной служить основой для всего ансамбля физики. Так как здесь мы занимаемся только основаниями физики и ее развитием, мы оставляем в стороне чисто формальный прогресс механики (уравнение Лагранжа, канонические уравнения и т. д.). Одно замечание кажется нам необходимым. Понятие «материальной точки» является фундаментальным для механики. Если теперь мы желаем получить механику телесного предмета, который *не может* трактоваться как материальная точка, — а, строго говоря, все «воспринимаемые нашими чувствами» предметы принадлежат к этой категории, — то ставится следующий вопрос: как мы должны представить себе предмет, состоящий из материальных точек, и какие силы нужно предполагать действующими между ними? Если механика претендует на *полное* описание предмета, то этот вопрос необходимо ставить.

Стремление механики считать неизменными эти материальные точки и законы сил, действующих между ними, естественно, ибо изменения во времени находятся вне области механического объяснения. Отсюда видно, что классическая механика должна вести к атомистической структуре материи. И теперь мы устанавливаем с очевидностью, как ошибаются теоретики, думающие, что теория индуктивно выводится из опыта. Даже великий Ньютон не смог избежать этой ошибки (*Hypotheses non fingo* — «Гипотез не придумываю»). Чтобы не запутаться безнадежно в таких рассуждениях (атомистических), наука вначале поступила следующим образом. Механика системы определена, если потенциальная энергия системы задана как функция ее конфигурации. Теперь, если действующие силы таковы, что они обеспечивают сохранение определенных структурных свойств системы, то конфигурация с достаточной точностью может быть описана сравнительно небольшим числом переменных q_r ; потенциальная энергия принимается в расчет только в той мере, в какой она зависит от *этих переменных* (например, описание конфигурации практически твердого тела шестью переменными).

Вторым способом приложения механики, при котором избегается учет деления материи на «реальные» материальные точки, является механика так называемых сплошных сред. Эта механика характеризуется фиктивным допущением, что плотность и скорость материи непрерывным образом зависят от координат и времени и что незаданная явно часть взаимодействия может рассматриваться как сила, действующая на поверхность (сила давления), которая, с другой стороны, является непрерывной функцией положения. Сюда относятся гидродинамика и теория упругости твердых тел. Эти теории избегают явного введения материальных точек и пользуются фикциями, которые в свете основ классической механики могут иметь только приближенное значение.

Эти категории науки имеют большое *практическое* значение; кроме того, они создали, благодаря распространению их идей в мире математики, формальные вспомогательные орудия (уравнения в частных производных), которые необходимы для последующих попыток формулировки всех аспектов физики способом, отличающимся от ньютоновского своей новизной.

Эти два способа приложения механики принадлежат к так называемой «феноменологической» физике. Этот вид физики характеризуется применением, насколько это возможно, весьма близких к опыту понятий; но именно вследствие этого приходится в значительной мере отказываться от единства фундамента. Теплота, электричество, свет описываются специальными функциями состояния и константами вещества, отличными от механических. Определение взаимной зависимости всех этих переменных было делом скорее эмпирическим. Многие современники Максвелла видели в таком представлении конечную цель физики, которая, думали они, может быть достигнута из опыта чисто индуктивным путем, на основе сравнительно тесного контакта используемых понятий и опыта. С точки зрения теории познания близко к этой позиции стояли Ст. Милль и Э. Мах.

По-моему, величайший подвиг механики Ньютона состоит в том, что ее постоянное применение привело к выходу за рамки феноменологических представлений, особенно в области тепловых явлений. Это произошло в кинетической теории газов и в более общем виде в статистической механике. Первая объединила уравнение состояния идеальных газов, вязкость, диффузию газов и установила логическую связь между явлениями, которые, с точки зрения прямого опыта, не имели абсолютно ничего общего.

Статистическая механика дала механическую интерпретацию идей и законов термодинамики и открыла предел приложения ее понятий и законов в классической теории теплоты. Кинетическая теория, которая намного обогнала феноменологическую физику в том, что касается логического единства своих основ, кроме того, дала для истинных размеров атомов и молекул определенные значения, которые получились различными независимыми методами и были, таким образом, установлены в областях, где они

не могли подвергаться серьезному сомнению. Эти решающие успехи были достигнуты в результате отождествления атомных структурных единиц с материальными точками, хотя чисто умозрительный характер таких структурных единиц и был очевиден. Никто не может надеяться когда-либо «прямо воспринимать» атом. Законы, описывающие поведение величин, более тесно связанных с экспериментальными данными (например, температуры, давления, скорости), были выведены из основных идей путем сложных расчетов. Таким образом, физика (по крайней мере часть ее), первоначально построенная феноменологически, была переведена с помощью механики Ньютона, примененной к атомам и молекулам, на основу, значительно более удаленную от прямого опыта, но зато более единого характера.

§ 3. Концепция поля

В объяснении оптических и электрических явлений механика Ньютона была существенно менее успешна, чем в указанных выше областях. Правда, в своей корпускулярной теории света Ньютон пытался сводить свет к движению материальных точек. Однако позже, когда явления поляризации, дифракции и интерференции предписывали его теории все более искусственные видоизменения, волновая теория Гюйгенса восторжествовала над ней.

Эта теория, очевидно, обязана своим возникновением явлениям кристаллооптики и теории звука, уже достаточно развитой к этому моменту. Нужно признать, что теория Гюйгенса также была основана на классической механике. Но как носитель волновых движений должен был рассматриваться всепроникающий эфир, к построению которого из материальных точек не могли привести никакие известные явления. Нельзя было дать ясную картину ни внутренних сил, управляющих эфиром, ни сил, действующих между эфиром и «весомой» материей. Вследствие этого основы этой теории остались навечно темными. Истинной основой теории было уравнение в частных производных, сведение которого к механическим элементам оставалось всегда проблематичным.

В теоретическую концепцию электрических и магнитных явлений были вновь введены особого рода массы, причем допускалось существование сил, действующих между ними на расстоянии, подобно гравитационным силам Ньютона. Этот особый вид материи казался тем не менее лишенным фундаментального свойства инерции, и силы, действующие между этими массами и весомой материей, остались неизвестными. К приведенным трудностям добавлялся еще не втискиваемый в схему классической механики полярный характер этих видов материи. Основа теории стала еще менее удовлетворительной, когда узнали об электродинамических явлениях,

хотя эти явления позволили физикам объяснить магнитные явления электродинамическими и сделали излишним допущение о магнитных массах. Возмездием за этот успех была необходимость допущения все возрастающей сложности сил взаимодействия между движущимися электрическими массами.

Теория электрического поля Фарадея и Максвелла, благодаря которой удалось выйти из этого затруднительного состояния, представляет, очевидно, наиболее глубокое превращение, которое основание физики претерпело со времени Ньютона. Это был новый шаг в конструктивном развитии теории, который увеличил расстояние между фундаментом теории и тем, что мы можем узнать нашими пятью чувствами. Существование поля проявляется фактически только тогда, когда вводится электрически заряженное тело. Дифференциальные уравнения Максвелла связывают пространственные и временные производные электрического поля и магнитного поля. Электрические заряды выступают только как области с отличной от нуля дивергенцией электрического поля. Свет появляется в виде электромагнитного волнового процесса в пространстве.

Конечно, Максвелл еще пытался интерпретировать свою теорию поля механически, с помощью моделей эфира. Но эти попытки постепенно отступали и освобожденные от всех ненужных придатков фигурируют, по представлениям Г. Герца, лишь на втором плане, так что в этой теории поле заняло в конце концов то главенствующее положение, которое в механике Ньютона занимали материальные точки. Однако вначале это было применимо только к электромагнитному полю в пустоте.

В своей начальной фазе теория была еще совершенно неудовлетворительной для объяснения явлений внутри вещества, потому что здесь необходимо было ввести два электрических вектора, связанных соотношениями, зависящими от природы среды и недоступными какому-нибудь теоретическому анализу. Аналогичное положение возникает при рассмотрении магнитного поля, а также соотношения между плотностью электрического тока и полем. Для избавления от трудностей Г. А. Лоренц нашел способ, который одновременно указывал путь для электродинамической теории движущихся тел, более или менее свободной от произвольных допущений. Его теория была основана на следующих основных гипотезах.

Повсюду (и внутри весомых тел) местонахождением поля является пустое пространство. Участие материи в электромагнитных явлениях обусловлено тем, что ее элементарные частицы несут неизменные электрические заряды и поэтому подвержены действию поперечных сил и, с другой стороны, обладают свойством порождать поле. Элементарные частицы подчиняются закону движения Ньютона для материальной точки.

Опираясь именно на эту основу, Лоренц добился синтеза механики Ньютона и теории поля Максвелла. Слабость этой теории состоит в том,

что она пытается постигнуть явления, комбинируя уравнения в частных производных (уравнения Максвелла для поля в пустоте) и уравнения в полных производных (уравнения движения точки); этот прием противоестественный. Неудовлетворительность теории явно проявляется в необходимости допустить конечность размеров частиц и, кроме того, в необходимости уклоняться от того факта, что существующее на их поверхности электромагнитное поле становится бесконечно большим. Теория была совершенно неспособна объяснить огромные силы, которые удерживают электрические заряды на отдельных частицах. Лоренц принял эти слабости теории, которые он прекрасно знал, чтобы наконец правильно объяснить явления хотя бы в их общих чертах.

Впрочем, у него было одно соображение, которое выходило за рамки его теории. Вблизи электрически заряженного тела имеется магнитное поле, которое вносит вклад (кажущийся) в его инерцию. Нельзя ли объяснить *полную* инерцию частиц электромагнитным путем? Ясно, что эта задача могла быть разработана удовлетворительно только в том случае, если частицы могли интерпретироваться как регулярные решения электромагнитных уравнений в частных производных. Уравнения Максвелла в их первоначальной форме не позволяли, однако, дать такое описание частиц, потому что соответствующие решения содержали сингулярность. Поэтому физики-теоретики долгое время пытались достигнуть цели видоизменением уравнений Максвелла. Но эти попытки не увенчались успехом. И в результате стоявшая в то время цель — построение чисто полевой электромагнитной теории материи — не была достигнута, хотя нельзя было привести никакие возражения против принципиальной возможности достижения такой цели. Новой попытке в этом направлении препятствовало отсутствие какого-либо систематического метода, ведущего к решению. Тем не менее мне кажется достоверным, что в основе последовательной теории поля помимо понятия поля не должно быть никакого понятия, относящегося к частицам. Вся теория должна основываться только на уравнениях в частных производных и их решениях, свободных от сингулярностей.

§ 4. Теория относительности

Не существует никакого индуктивного метода, который мог бы вести к фундаментальным понятиям физики. Не зная этого обстоятельства, многие исследователи XIX в. стали жертвами серьезной философской ошибки. Очевидно по этой причине молекулярная теория и теория Максвелла могли утвердиться только в сравнительно позднее время. Логическое мышление по необходимости дедуктивное, оно основано на гипотетических представлениях и аксиомах. В какой мере можно ожидать, что

последние избраны именно так, чтобы оправдать надежду достижения определенного успеха?

Наиболее удовлетворительное положение безусловно достигается в том случае, когда новые фундаментальные гипотезы навеяны самим экспериментом. Составляющая основу термодинамики гипотеза о невозможности вечного двигателя представляет пример фундаментальной гипотезы, навеянной экспериментом; это же верно для принципа инерции Галилея. К этой же категории относятся, между прочим, фундаментальные гипотезы теории относительности, которая привела к развитию и неожиданному расширению теории поля и замене основ классической механики.

Успехи теории Максвелла — Лоренца внушили веру в истинность электромагнитных уравнений для пустого пространства, а также, в частности, в утверждение, что свет распространяется «в пространстве» с определенной постоянной скоростью c . Невыполняется ли закон инвариантности скорости света относительно любой инерциальной системы? Если это не справедливо, то одна особая инерциальная система, точнее, состояние особого движения (тела отсчета), отличается от всех остальных. Против этой идеи восстают, однако, все механические и оптические данные нашего опыта.

По этим соображениям стало необходимым рассматривать истинность закона постоянства скорости света для всех инерциальных систем как принцип. Отсюда вытекает, что пространственные координаты x_1 , x_2 , x_3 и время x_4 должны преобразоваться согласно «преобразованиям Лоренца», которые характеризуются инвариантностью выражения

$$ds^2 = dx_1^2 + dx_2^2 + dx_3^2 - dx_4^2,$$

если единица времени выбрана так, что скорость света $c = 1$.

Благодаря такому приему время потеряло свой абсолютный характер и стало рассматриваться как алгебраически подобное (почти) пространственным координатам. Абсолютный характер времени, и в частности одновременности, был опровергнут, и четырехмерное описание было введено как единственно разумное.

Чтобы учесть также эквивалентность всех инерциальных систем относительно всех явлений природы, необходимо постулировать и инвариантность относительно преобразования Лоренца всех систем физических уравнений, выражающих общие законы. Выполнение этого требования составляет содержание специальной теории относительности.

Эта теория совместима с уравнениями Максвелла, но она не совместима с основами классической механики. Правда, уравнения движения материальной точки (и вместе с ними выражения для количества движения и кинетической энергии материальной точки) могут быть видоизменены так, чтобы удовлетворить теории; но понятие силы взаимодействия и вместе с ним

понятие потенциальной энергии системы потеряли свою основу, так как эти понятия базировались на идее абсолютной одновременности. Поле, которое определяется дифференциальными уравнениями, заняло место силы.

Так как теория, о которой идет речь, допускает взаимодействие только между полями, становится необходимой теория гравитационного поля. Действительно, нетрудно сформулировать теорию, в которой, как в теории Ньютона, гравитационное поле может быть сведено к скаляру, являющемуся решением уравнения в частных производных. Во всяком случае, экспериментальные факты, выраженные в теории гравитации Ньютона, ведут к другому направлению — общей теории относительности.

Неудовлетворительным пунктом основ классической механики является двоякая роль, которую играет одна и та же постоянная масса; она входит как «инертная масса» в закон движения и как «тяжелая масса» в закон тяготения. В результате этого ускорение тела в гравитационном поле независимо от содержащейся в нем материи; или в *равномерно-ускоренной* относительно «инерциальной системы» системе координат движение происходит так же, как оно бы происходило в однородном гравитационном поле относительно «покоящейся» системы координат. Если допустить, что эквивалентность этих двух масс является полной, то этим добиваемся приспособления нашей теоретической мысли к тому факту, что тяжелая и инертная масса тождественны.

Отсюда вытекает, что нет никаких доводов считать преимущественность «инерциальных систем» фундаментальным принципом, и мы должны допустить, что *нелинейные* преобразования координат x_1, x_2, x_3, x_4 тоже с полным правом являются эквивалентными. Если произвести такое преобразование системы координат специальной теории относительности, то метрика

$$ds^2 = dx_1^2 + dx_2^2 + dx_3^2 - dx_4^2$$

становится общей (римановой) метрикой $ds^2 = g_{\mu\nu} dx_\mu dx_\nu$ (суммирование по μ и ν), где $g_{\mu\nu}$, симметричные относительно μ и ν , являются некоторыми функциями x_1, \dots, x_4 , которые описывают одинаково хорошо как метрические свойства, так и гравитационное поле относительно новой системы координат.

Прогресс в трактовке основ механики, о котором мы говорили, имеет, однако, как показывает более тщательный анализ, то неудобство, что новые координаты не могут быть интерпретированы как результаты измерений с помощью твердых тел и часов, как это делалось в исходной системе (инерциальной системе с исчезающим гравитационным полем).

Переход к общей теории относительности осуществляется с помощью предположения, что указанное представление свойств поля пространства с помощью функций $g_{\mu\nu}$ (т. е. римановой метрикой) обосновано и в *общем* случае, когда не существует системы координат, относительно которой

метрика приобретает простую квазиэвклидову форму специальной теории относительности.

Другими словами, координаты сами по себе уже не выражают метрических соотношений, а только «близость» описанных предметов, координаты которых мало отличаются друг от друга. Все преобразования координат допустимы постольку, поскольку эти преобразования свободны от сингулярностей. Только уравнения, являющиеся ковариантными относительно произвольных в этом смысле преобразований, имеют смысл выражений общих законов природы (постулат общей ковариантности).

Первой целью общей теории относительности является установление предварительной формулировки, которую, пренебрегая требованием, чтобы она сама по себе составляла нечто завершенное, можно было возможно проще связать с «непосредственно наблюдаемыми фактами». Теория гравитации Ньютона дала подобный пример, ограничившись чистой механикой тяготения. Эта предварительная формулировка может быть охарактеризована следующим образом.

1. Понятие материальной точки и ее массы сохраняется. Формулируется закон ее движения, являющийся переводом закона инерции на язык общей теории относительности. Этот закон представляет собой систему уравнений в полных производных, характеризующих геодезическую.

2. Вместо ньютоновского закона гравитационного взаимодействия мы найдем систему наиболее простых общековариантных дифференциальных уравнений, которую можно установить для тензора $g_{\mu\nu}$. Она образуется сведением к нулю однократно свернутого тензора кривизны Римана ($R_{\mu\nu} = 0$).

Эта формулировка позволяет рассматривать проблему планет. Точнее говоря, она позволяет рассматривать проблему движения материальных точек с практически пренебрегаемой массой в поле тяготения, образованном материальной точкой, которую предполагают не обладающей никаким движением (центральная симметрия). Она не учитывает реакции материальных точек, «движущихся» в гравитационном поле, и не принимает во внимание, каким образом центральная масса образует это поле.

Аналогия с классической механикой показывает, что теорию можно дополнить следующим образом. Возьмем уравнение поля

$$R_{ik} - \frac{1}{2} g_{ik} R = -T_{ik},$$

где R обозначает скалярную риманову кривизну, T_{ik} — тензор энергии материи в феноменологическом представлении. Левая часть уравнения выбрана таким образом, что ее дивергенция тождественно равна нулю. Вытекающее отсюда равенство нулю дивергенции правой части дает «уравнения движения» материи в форме уравнений в частных производных для слу-

чая, когда T_{ik} вводит для описания материи только *четыре* функции, совершенно независимых друг от друга (например, плотность, давление и компоненты скорости, где между последними существует тождество, а между давлением и плотностью — уравнение состояния).

При такой формулировке вся механика гравитации сведена к решению одной системы ковариантных уравнений в частных производных. Эта теория избегает всех внутренних противоречий, в которых мы упрекали классическую механику. Она достаточна, насколько мы знаем, для выражения наблюдаемых фактов небесной механики. Но она похожа на здание, одно крыло которого сделано из изящного мрамора (левая часть уравнения), а другое — из плохого дерева (правая часть уравнения). Феноменологическое представление материи лишь очень несовершенно заменяет такое представление, которое соответствовало бы всем известным свойствам материи.

Нетрудно объединить теорию электромагнитного поля Максвелла и теорию гравитационного поля, если ограничиваться пространством, свободным от весомой материи и электрической плотности. Все, что необходимо сделать, — это взять во втором члене приведенного выше уравнения для T_{ik} тензор энергии электромагнитного поля в пустом пространстве и присоединить к системе так измененных уравнений записанное в общековариантной форме уравнение поля Максвелла для пустого пространства. При таких условиях между всеми этими уравнениями будет существовать достаточное для обеспечения их согласованности число дифференциальных тождеств. Можно добавить, что это необходимое формальное свойство всей системы уравнений оставляет произвольным выбор знака T_{ik} , что окажется важным в дальнейшем.

Следствием желания достигнуть для фундамента теории наибольшей возможной степени единства были различные попытки объединить гравитационное и электромагнитное поля в единую формальную и однородную картину. Здесь мы должны отметить, в частности, пятимерную теорию Калуцы и Клейна. Рассмотрев весьма тщательно эту возможность, я нахожу, что предпочтительнее согласиться с отсутствием внутренней однородности первоначальной теории, ибо не думаю, чтобы совокупность гипотез, составляющих основу пятимерной теории, содержала меньше произвола, чем первоначальная теория. То же замечание может быть сделано и относительно проективной разновидности теории, весьма тщательно разработанной, в частности, Дантцигом и Паули.

Предыдущие рассуждения относятся исключительно к теории поля, свободного от материи. Как нужно поступить для того, чтобы получить полную теорию для материи, состоящей из атомов? В такой теории сингулярности безусловно должны быть исключены, потому что без такого исключения дифференциальные уравнения не определяют полностью общее

поле. Здесь, в общей теории относительности, мы встречаемся с той же проблемой теоретического представления поля, которая впервые появилась в связи с чисто максвелловской теорией.

Попытка построения частиц, исходя из теории поля, очевидно, вновь ведет к сингулярностям. И здесь была сделана попытка исправить недостаток путем введения новых переменных поля, переработав и расширив систему уравнений поля. Между тем я, в сотрудничестве с доктором Розеном, недавно открыл, что отмеченное выше простейшее сочетание уравнений гравитационного и электромагнитного полей дает центрально-симметричные решения, которые можно представить свободными от сингулярностей (хорошо известные центрально-симметричные решения Шварцшильда для чисто гравитационного поля и Рейснера для электрического поля с учетом его гравитационного действия). Мы еще вернемся к этому в параграфе 6. Таким образом, представляется возможным получить для материи и ее взаимодействий чисто полевую теорию, избавленную от дополнительных гипотез,— теорию, которая к тому же может быть экспериментально проверена и которая в конце концов подвержена лишь математическим трудностям, правда, очень серьезным.

§ 5. Теория квант и основы физики

Физики-теоретики нашего поколения ожидают, что для физики будет построена новая теоретическая основа, которая воспользуется фундаментальными представлениями, значительно отличающимися от представлений рассмотренной до сих пор теории поля. Основанием для этого служит признание необходимости использования новых методов исследования при математическом представлении явлений, получивших название квантовых.

Тогда как недостатки классической механики, выявленные теорией относительности, связаны с конечностью скорости света (исключается ее бесконечность), в начале нашего века было обнаружено, что между выводами механики и результатами опыта существуют другие противоречия, которые связаны с конечным значением (исключается равенство нулю) постоянной Планка h . В частности, молекулярная механика требует, чтобы теплоемкость и плотность излучения (монохроматического) твердых тел убывали пропорционально уменьшению их абсолютной температуры; опыт показал, что эти величины убывают быстрее абсолютной температуры. Для теоретического объяснения их поведения необходимо предполагать, что энергия механической системы может принимать не любые, а только определенные дискретные значения, математическое выражение которых всегда зависит от постоянной Планка h . Больше того, эта концепция была существенно важной для теории атома (теория Бора). Для пе-

перехода атомов из одного состояния в другое — с излучением или поглощением и без них — нельзя было указать никакого каузального закона, а только статистический; к такому же заключению пришли и для радиоактивного распада атомов, который тоже тщательно изучался в эту эпоху. Более двух десятилетий физики безуспешно пытались найти единую интерпретацию этого «квантового характера» определенных групп явлений. Такая попытка увенчалась успехом около 10 лет назад путем использования двух совершенно различных теоретических методов. Одним из этих методов мы обязаны Гейзенбергу и Дираку, другим — Луи де Бройлю и Шредингеру. Математическая эквивалентность обоих методов была вскоре доказана Шредингером. Хочу попытаться наметить ход мыслей Луи де Бройля и Шредингера, который ближе к способу мышления физиков, затем изложить некоторые общие соображения.

Вначале вопрос ставится так: каким образом можно определить для системы дискретный ряд значений энергии H_σ , определяемой в смысле классической механики (энергия является заданной функцией координат q_r и соответствующих количеств движения p_r)? Константа Планка h связывает частоту H_σ/h со значениями энергии H_σ . Итак, достаточно считать, что система имеет дискретный ряд значений частоты. Это напоминает нам, что в акустике ряд дискретных значений частоты соответствует линейному уравнению в частных производных (если граничные условия заданы), т. е. периодическим синусоидальным решениям. Аналогичным способом Шредингер поставил себе задачу сопоставить заданной функции энергии $\varepsilon(q_r, p_r)$ уравнение в частных производных для некоторой скалярной функции ψ , где q_r и время t являются независимыми переменными. Ему это удалось (для комплексной функции ψ) в том смысле, что теоретические значения энергии H_σ , указанные статистической теорией, действительно вытекают удовлетворительным образом из периодического решения уравнения.

Само собой разумеется, что было невозможно сопоставить определенному решению $\psi(q_r, t)$ уравнения Шредингера определенное движение материальных точек в механическом смысле. Это означает, что функция ψ не определяет, по крайней мере точно, историю q_r как функции времени. Однако, следуя Борну, физическое значение функций ψ можно интерпретировать следующим образом: $\psi\bar{\psi}$ (квадрат абсолютного значения комплексной функции ψ) является плотностью вероятности конфигураций q_r в момент t в рассматриваемой точке конфигурационного пространства. Следовательно, содержание уравнения Шредингера можно характеризовать следующим, легко понимаемым, но не совсем точным образом: оно определяет изменение во времени плотности вероятности статистического ансамбля систем в пространстве конфигураций. Короче говоря, уравнение Шредингера определяет изменение во времени функции ψ от q_r .

Необходимо отметить, что результаты этой теории содержат результаты механики точки как предельные значения, когда длина волны, с которой встречаются при решении задачи Шредингера, повсюду столь мала, что потенциальная энергия меняется практически бесконечно мало при изменениях порядка одной длины волны в конфигурационном пространстве. При этих условиях ясно выделяется следующее: выберем в конфигурационном пространстве область G_0 , большую (по всем размерам) относительно длины волны, но малую по сравнению с практическими размерами конфигурационного пространства. При этих условиях возможно выбрать функцию ψ так, что для начального момента t_0 она исчезает вне области G_0 и ведет себя, в соответствии с уравнением Шредингера, таким же образом, по крайней мере приближенно, и для последующего времени, но относительно области, которая к этому времени t перешла в другую область G . Тогда можно будет с определенной степенью приближения говорить о движении области G в целом и заменить это движение движением точки в конфигурационном пространстве. Это движение совпадает с требуемыми уравнениями классической механики.

Опыты по интерференции корпускулярных лучей дали блестящее подтверждение того, что предполагаемый теорией волновой характер явлений движения действительно соответствует фактам. Кроме того, в теории легко удалось вывести статистические законы перехода системы из одного квантового состояния в другое под действием внешних сил, что, с точки зрения классической механики, казалось чудом. Внешние силы здесь представлены небольшими, зависящими от времени приращениями потенциальной энергии. Тогда как в классической механике такие приращения могут вызвать только соответственно малые изменения в системе, в квантовой механике они же вызывают изменения любой величины, но с соответственно малой вероятностью; это следствие полностью соответствует опыту. Теория даже позволила понять, по крайней мере в основных чертах, законы радиоактивного распада.

Очевидно в прошлом никогда не была развита теория, которая, подобно квантовой, дала бы ключ к интерпретации и расчету группы столь разнообразных явлений. Несмотря на это, я все-таки думаю, что в наших поисках единого фундамента физики эта теория может привести нас к ошибке: она дает, по-моему, неполное представление о реальности, хотя и является единственной, которую можно построить на основе фундаментальных понятий силы и материальных точек (квантовые поправки к классической механике). Неполнота представления является результатом статистической природы (неполноты) законов. Я хочу сейчас обосновать это мнение.

Я спрашиваю сначала — до какой степени функция ψ описывает реальное состояние механической системы? Допустим, что ψ , — периоди-

ческие решения уравнения Шредингера (расположенные в порядке возрастания значений энергии). Я оставляю пока в стороне вопрос о том, в какой степени отдельные ψ_r дают *полное* описание физических состояний. Вначале система находится в состоянии ψ_1 с наименьшей энергией ε_1 . Затем в течение конечного промежутка времени на систему действует небольшая возмущающая сила. Для некоторого последующего момента из уравнения Шредингера получаем функцию ψ в виде:

$$\psi = \sum C_r \psi_r,$$

где C_r — постоянные (комплексные). Если ψ_r «нормированы», то C_1 почти равен единице, C_2 и т. д. малы по сравнению с единицей. Можно теперь спросить: описывает ли ψ действительное состояние системы? Если ответ положительный, то единственное, что нам остается, — это приписать³ этому состоянию определенную энергию E , а именно: такую, которая не намного превосходит E_1 (во всяком случае $E_1 < E < E_2$). Но такое предположение противоречит опытам Франка и Герца по соударению электронов, если к этому же опыту данное Милликеном доказательство дискретной природы электричества. В действительности, эти опыты приводят к заключению, что между двумя квантовыми значениями не существует никаких других значений энергии. Отсюда следует, что наша функция ψ никоим образом не описывает состояние самой системы, а скорее представляет собой статистическое описание, при котором C_r выражают вероятности отдельных значений энергии. Следовательно, кажется очевидным, что данное Борном статистическое истолкование квантовой теории является единственно возможным. Функция ни в коем случае не описывает состояние, свойственное одной единственной системе; она относится скорее к нескольким системам, т. е. к «ансамблю систем», в смысле статистической механики. Если, исключая некоторые особые случаи, функция дает только статистические данные об измеримых величинах, то причина состоит не только в том, что *операция измерения* вносит неизвестные элементы, которые можно уловить лишь статистически, а в самом факте, что функция ψ ни в коем смысле не описывает состояния *одной* отдельной системы.

Такая интерпретация устраняет также и указанный недавно мною и моими двумя сотрудниками парадокс, относящийся к следующей проблеме.

Рассмотрим механическую систему, состоящую из двух отдельных систем A и B , взаимодействующих только в течение ограниченного времени. Пусть задана функция ψ до взаимодействия. Тогда уравнение Шредингера даст функцию ψ после взаимодействия. Определим теперь физическое

³ Потому что, согласно прочно установленному следствию теории относительности, энергия системы (в покое) равна ее массе (как целого). А последняя должна иметь вполне определенное значение.

состояние подсистемы A настолько полно, насколько это допускается изменениями. Тогда квантовая механика позволяет нам определить функцию ψ для подсистемы B по сделанным измерениям и функции ψ для всей системы. Это определение, однако, дает результат, который зависит от того, *какие* определяющие величины, характеризующие состояние A , измерялись (например, координаты или количества движения). Поскольку после взаимодействия для B может существовать только одно физическое состояние, которое нельзя себе разумно представить зависящим от отдельных измерений, произведенных над системой A , отделенной от B , можно заключить, что функции ψ нельзя однозначно сопоставить физическое состояние. Это сопоставление нескольких функций ψ одному и тому же физическому состоянию системы B вновь показывает, что функция не может интерпретироваться как описание (полное) физического состояния одной отдельной системы. Здесь также все трудности исчезают, если функция ψ сопоставляется с ансамблем систем⁴.

Тот факт, что квантовая механика позволяет столь просто получить выводы, касающиеся прерывных переходов (кажущихся) из одного состояния системы в другое, не давая фактически представления об отдельных процессах, связан с другим фактом, а именно: что теория в действительности оперирует не с отдельной системой, а с ансамблем систем. Коэффициенты C_r в нашем первом примере очень мало меняются под действием внешних сил. Такая интерпретация квантовой механики позволяет понять, почему эта теория так легко объясняет способность малых возмущающих сил вызывать изменения любой величины в физическом состоянии системы. Такие возмущающие силы вызывают фактически лишь соответствующие малые изменения статистической плотности ансамбля систем, а следовательно, бесконечно малые изменения функции ψ ; математическое выражение этих изменений представляет гораздо меньше трудностей, чем представляло математическое выражение конечных изменений, претерпеваемых отдельными системами. Что происходит в отдельной системе, остается, правда, при такой манере мышления совершенно невыясненным; статистическая точка зрения совершенно исключает из рассмотрения эти таинственные процессы.

Но теперь я спрашиваю: неужели какой-нибудь физик действительно верит, что нам не удастся узнать что-либо о важных внутренних изменениях в отдельных системах, об их структуре и причинных связях? И это несмотря на возникшие благодаря замечательным открытиям камеры Вильсона и счетчика Гейгера возможности исследования? Думать так логиче-

⁴ Операция измерения A , например, также содержит в себе переход к более ограниченному ансамблю систем. Последний (а значит, и его ψ -функция) зависит от того, с какой точки зрения было произведено ограничение ансамбля систем.

ски допустимо, но это настолько противоречит моему научному инстинкту, что я не могу отказаться от поисков более полной концепции.

К этому мы хотели бы добавить некоторые соображения иного рода, которые также свидетельствуют против идеи, что введенные квантовой механикой методы способны создать основу, пригодную для всей физики. В уравнении Шредингера абсолютное время и потенциальная энергия играют решающую роль, тогда как теорией относительности эти два понятия признаны в принципе недопустимыми. Чтобы избежать этих трудностей, нужно основать теорию на понятии поля и законах полей, а не на силах взаимодействия. Это приводит к распространению статистических методов квантовой механики на поля, т. е. на системы с бесконечным числом степеней свободы. Хотя во всех сделанных до сих пор попытках ограничивались линейными уравнениями, которые, как мы знаем по данным общей теории относительности, недостаточны, встретившиеся при осуществлении уже этих весьма остроумных попыток осложнения ужасающе велики. Они возрастают чрезвычайно, если мы хотим удовлетворить требованиям общей теории относительности, правомочность которой в принципе никем не может оспариваться.

Необходимо отметить, конечно, что введение пространственно-временного континуума может считаться противоестественным, если иметь в виду молекулярную структуру всего происходящего в микромире. Утверждают, что успех метода Гейзенберга может быть приведен к чисто алгебраическому методу описания природы, т. е. исключению из физики непрерывных функций. Но тогда нужно будет в принципе отказаться от пространственно-временного континуума. Можно думать, что человеческая изобретательность в конце концов найдет методы, которые позволят следовать этому пути. Но в настоящее время такая программа смахивает на попытку дышать в безвоздушном пространстве.

Нет сомнения, что в квантовой механике имеется значительный элемент истины и что она станет пробным камнем для любой будущей теоретической основы, из которой она должна будет быть выведена как частный случай, подобно тому, как электростатика выводится из уравнений Максвелла для электромагнитного поля или термодинамика из классической механики. Однако я не думаю, что квантовая механика является *исходной точкой* поисков этой основы, точно так же, как нельзя, исходя из термодинамики (или, соответственно, из статистической механики), прийти к основам механики.

Учитывая такое положение, кажется вполне оправданным серьезное рассмотрение вопроса о том, нельзя ли *каким-нибудь* образом привести в соответствие основу физики поля с данными квантовой теории? Не является ли она единственной основой, которая, в соответствии с современными возможностями математики, может быть адаптирована к требова-

ниям общей теории относительности? Господствующая среди современных физиков вера в совершенную безнадежность таких попыток коренится в необоснованном мнении, что в первом приближении такая теория должна привести к уравнениям классической механики для движения частиц или по крайней мере к обыкновенным дифференциальным уравнениям. Фактически до настоящего времени нам ни разу не удалось теоретически представить частицы с помощью полей, свободных от сингулярностей, и мы не можем ничего а priori сказать по поводу поведения таких существей. Однако одно достоверно: если теории поля удастся представить частицы без сингулярностей, то поведение этих частиц во времени будет однозначно определяться дифференциальными уравнениями поля.

§ 6. Теория относительности и частицы

Я хочу теперь показать, что, согласно общей теории относительности, существуют свободные от сингулярностей решения уравнений поля, причем эти решения можно интерпретировать как представляющие частицы. Я ограничиваюсь здесь случаем нейтральных частиц, так как совместно с доктором Розеном⁵ в недавней работе подробно рассматривал этот вопрос, а также потому, что в этом случае можно полностью выявить суть проблемы.

Гравитационное поле полностью описывается тензором $g_{\mu\nu}$. В трехиндексном символе $\Gamma_{\mu\nu\sigma}$ также появляются контравариантные тензоры $g^{\mu\nu}$, определяемые как частные от деления миноров $g_{\mu\nu}$ на детерминат $g (= |g_{\alpha\beta}|)$. Для того чтобы R_{ik} были определенными и конечными, недостаточно задать систему координат в окрестности любой части континуума, так, чтобы $g_{\mu\nu}$ и их первые производные были бы непрерывными и дифференцируемыми; необходимо также, чтобы детерминат нигде не равнялся нулю. Это последнее ограничение, однако, исключается, если дифференциальные уравнения $R_{ik} = 0$ заменить на $g^2 R_{ik} = 0$, левые части которых являются целыми рациональными функциями g_{ik} и их производных.

Эти уравнения имеют центрально-симметричные решения, указанные Шварцшильдом,

$$ds^2 = \frac{1}{1 - \frac{2m}{r}} dr^2 - r^2 (d\theta^2 + \sin^2 \theta d\varphi^2) + \left(1 - \frac{2m}{r}\right) dt^2.$$

Это решение имеет сингулярность при $r = 2m$, так как коэффициент при dr^2 (т. е. $g_{1,1}$) становится бесконечным на этой гиперповерхности. Если

⁵ Ср. статью 113 (том II). — Прим. ред.

теперь заменить переменную r на ρ по формуле

$$\rho^2 = r - 2m,$$

получим

$$ds^2 = -4(2m + \rho^2) d\rho^2 - (2m + \rho^2)^2 (d\theta^2 + \sin^2 \theta d\varphi^2) + \frac{\rho^2}{2m + \rho^2} dt^2.$$

Это регулярное решение при всех значениях ρ . Правда, исчезновение коэффициента при dt (т. е. g_{44}) при $\rho = 0$ приводит к равенству нулю детерминанта g при этом значении; но при принятом методе записи уравнений поля это не приводит к сингулярности.

Если ρ меняется от $-\infty$ до $+\infty$, r меняется от $+\infty$ до $r = 2m$ и обратно до $+\infty$, тогда как значениям $r < 2m$ не соответствуют никакие вещественные значения ρ . Отсюда следует, что решение Шварцшильда становится регулярным, если представить физическое пространство состоящим из двух «оболочек», граничащих вдоль гиперповерхности $\rho = 0$, т. е. $r = 2m$, тогда как на самой гиперповерхности детерминант равен нулю. Будем называть такую связь между двумя оболочками (тождественными) «мостом». Следовательно, существование такого моста между двумя оболочками в конечной области соответствует существованию нейтральной материальной частицы, описанной способом, свободным от сингулярностей.

Решение проблемы движения нейтральных частиц, очевидно, сводится к нахождению решений тех уравнений гравитации (написанных без знаменателей), которые содержат несколько мостов.

Изложенная выше концепция соответствует априори атомистической структуре материи, поскольку мосты по своей природе дискретны. Кроме того, мы видим, что константа массы m нейтральных частиц должна быть существенно положительной, так как отрицательным значениям m не может соответствовать какое-либо свободное от сингулярностей решение Шварцшильда. Только исследование проблемы многих мостов может показать, дает ли этот теоретический метод объяснение эмпирически установленному равенству масс частиц в природе и учитывает ли он все факты, столь преходяще охваченные квантовой механикой.

Аналогичным образом можно показать, что комбинированные уравнения гравитации и электричества (при надлежащем выборе знака электрических членов в уравнениях гравитации) дают свободное от сингулярностей мостовое представление электрической частицы. Наиболее простое решение этого рода относится к электрической частице, не имеющей гравитационной массы.

До тех пор, пока не преодолены значительные математические трудности проблемы многих мостов, нельзя ничего утверждать о пользе теории с точки зрения физика. Тем не менее она несомненно является первой

попыткой последовательной разработки полевой теории, дающей возможность объяснить свойства вещества. В пользу этой попытки говорит и то обстоятельство, что она основана на релятивистских уравнениях поля, наиболее простых из известных в настоящее время.

Резюме

Физика представляет собой развивающуюся логическую систему мышления, основы которой можно получить не выделением их какими-либо индуктивными методами из опыта, а лишь свободным вымыслом. Обоснование (истинность) системы основано на доказательстве применимости вытекающих из нее теорем в области чувственного опыта, причем соотношения между последними и первыми можно понять лишь интуитивно. Эволюция происходит в направлении все увеличивающейся простоты логических основ. Больше того, чтобы приблизиться к этой цели, мы должны решиться признать, что логическая основа все больше и больше удаляется от данных опыта, и мысленный путь от основ к вытекающим из них теоремам, коррелирующим с чувственными опытами, становится все более трудным и длинным.

Наша цель состояла в том, чтобы возможно короче наметить картину развития основных понятий в их связи с опытными фактами и усилиями достичь внутреннего совершенства системы. Было также необходимо выяснить с помощью этих соображений современное состояние вещей так, как оно мне представляется (схематическое историческое изложение неизбежно носит некоторую личную окраску).

Я стремился показать, каким образом связаны между собой и с природой эксперимента понятия телесного объекта, пространства, субъективного и объективного времени. В классической механике понятия пространства и времени независимы друг от друга. Понятие телесного объекта заменялось в самой основе понятием материальной точки, благодаря чему механика стала существенно атомистической. Свет и электричество порождали непреодолимые трудности, когда пытались сделать механику основой для всей физики. Это приводит к теории электрического поля и к попытке основать всю физику на понятии поля (после попытки компромисса с классической механикой). Эта попытка ведет к теории относительности (превращение понятий пространства и времени в континуум с метрической структурой).

Я старался, далее, доказать, почему, по моему мнению, квантовая теория не выглядит способной дать фундамент, полезный для физики. Попытки рассматривать теоретическое квантовое описание как *полное* описание отдельных физических систем или отдельных событий приводят к противоречиям.

С другой стороны, теория поля до сих пор не в состоянии дать объяснение молекулярной структуры материи и квантовых явлений. Тем не менее было показано, что убеждение в неспособности теории поля разрешить своими методами эти проблемы основывается на некотором предубеждении.

Немецкий текст помещен также в «Zs. für freie deutsche Forschung», 1938, Т. 1, 5—19; английский перевод статьи напечатан также в сб. «Ideas and Opinions»; русский перевод (без § 1) — в сб. «Физика и реальность».

В статье упомянуты разные варианты единой теории поля: работы Калуцы, описанные самим Эйнштейном (т. II, статьи 83, 84), работы А. Клейна (Zs. Physik, 1926, 37, 12, 285) и примечание Эйнштейна в конце статьи 84 (т. II), статьи Д. Данцига (Akad. Wettensch. Amsterdam, 1934, 37, 521, 526, 643, 825), статья В. Паули о проективном пространстве (см. Ann. d. Phys., 1933, 18, 305), статьи Эйнштейна с Розеном, помещенные во II томе (статьи 113, 114). Как известно, все эти попытки не увенчались успехом.

На стр. 208 Эйнштейн упоминает об «опыте с ведром». Речь идет о форме поверхности воды в сосуде, вращающемся вокруг своей оси. (Ньюто́н. Начала. СПб., 1914, стр. 33.)

КОММЕНТАРИЙ ПО ПОВОДУ ОБОБЩЕНИЯ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ ПРОФЕССОРОМ ПЕЙДЖЕМ И КРИТИКИ ДОКТОРА ЗИЛЬБЕРШТЕЙНА *

Вы спрашиваете мое мнение о двух статьях, опубликованных в номере «The Physical Review» от 1 февраля¹.

В первой из этих статей, написанной Людвиком Зильберштейном, речь идет о решении уравнений гравитационного поля с двумя центрами². Автор считает, что результат его несложных выкладок опровергает общую теорию относительности, поскольку он усматривает в этом результате элементарное противоречие с общеизвестными фактами.

Я уже сообщил Зильберштейну, что его результат основан на ошибке, которую он, к сожалению, до сих пор не признал.

Вторая статья, «Новая теория относительности», принадлежит Лею Пейджу и представляет собой попытку заложить основы для обобщения теории относительности³. Основная ее идея еще не настолько развита, чтобы можно было бы сделать определенные выводы о возможных экспериментальных проверках. Поэтому нельзя сказать, правильна ли эта теория или нет.

С такой критической оценкой придется подождать до того времени, когда можно будет увидеть законченную физическую теорию.

Я хотел бы воспользоваться предоставившимся мне случаем и сделать несколько замечаний по поводу публикаций научных новостей в газетах. Разумеется, широкой публике следует сообщать о тех научных понятиях, в которых мы до какой-то степени уже уверились. Я считаю вредным, когда в газетах появляются загадочные и туманные сообщения о проблемах, еще не прояснившихся в достаточной мере.

Такие публикации не способствуют духовному обогащению интеллигентного читателя, они могут лишь подорвать у него доверие к честным научным исследованиям.

* *Comment on Extension of Relativity Theory by Prof. Page and on Dr. on Silberstein's Criticism by Theory.* New York Times, 8 February 1936.

¹ Ср. т. II, статья 113.— *Прим. ред.*

² L. Silberstein. Phys. Rev., 1936, 49, 268. Замечания Эйнштейна и Розена см. т. II, статья 114.— *Прим. ред.*

³ L. Page. Phys. Rev., 1936, 49, 254.— *Прим. ред.*

РАССУЖДЕНИЯ ОБ ОСНОВАХ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ*

Наука — это попытка привести хаотическое многообразие нашего чувственного опыта в соответствие с некоторой единой системой мышления. В этой системе отдельные опыты сопоставляются с теоретической структурой таким образом, чтобы вытекающее отсюда соответствие было однозначным и убедительным.

Чувственные восприятия нам даются, но теория, призванная их интерпретировать, создается человеком. Она является результатом исключительно трудоемкого процесса приспособления: гипотетического, никогда окончательно не заканчиваемого, постоянно подверженного спорам и сомнениям.

Способ образования понятий в науке отличается от применяемого в повседневной жизни не своими принципами, а лишь более точным определением понятий и следствий, более тщательным и систематическим отбором экспериментального материала и большей экономией мысли.

Под этим последним мы понимаем стремление свести все понятия и соотношения к возможно меньшему числу логически независимых друг от друга основных аксиом и понятий.

То, что мы называем физикой, охватывает группу естественных наук, основывающих свои понятия на измерениях, причем представления и утверждения физики могут быть сформулированы математически. Следовательно, ее областью является та часть общей суммы нашего знания, которую можно выразить в математических терминах. По мере развития науки область физики настолько расширилась, что кажется ограниченной лишь возможностями самого метода.

Большая часть физических исследований посвящена развитию различных отраслей физики; предметом каждой отрасли является теоретическое осмысление большего или меньшего числа областей опыта; в каждой из них законы и понятия остаются по возможности тесно связанными с опытом. Именно этот раздел науки, со своей постоянно усиливающейся

* *Considerations concerning the Fundamentals of Theoretical Physics.* Science, 1940, 91, 487—492.

специализацией, за последние века революционизировал практическую жизнь и создал, наконец, возможность освобождения человека от бремени физического труда.

С другой стороны, с самого начала проявлялось стремление найти для унификации всех отраслей науки теоретическую основу, образованную минимальным числом понятий и фундаментальных соотношений, из которой логическим путем можно было бы вывести все понятия и соотношения отдельных дисциплин.

Вот что мы понимаем под отысканием основ физики в целом. Глубокое убеждение в достижимости этой цели является главным источником страстной преданности, которая всегда воодушевляет исследователя. Последующие замечания посвящены основам физики, понимаемым именно в этом смысле.

Из сказанного становится ясно, что слово «основа» в этой связи не означает чего-то во всех отношениях тождественного фундаменту здания. Правда, с логической точки зрения различные частные законы покоятся на этой основе. Но тогда как фундамент здания может остаться нетронутым даже если само здание серьезно повреждено сильным штормом или весенним разливом, в науке дело обстоит совершенно иначе. Новые опыты или новое открытие представляют большую опасность для логического основания, чем для тех ветвей, которые теснее связаны с опытом. Большое значение основания определяется именно его связью с отдельными частями, но именно здесь таится и опасность в лице каждого нового факта. Если мы отдаем себе в этом отчет, то становится неясным, почему так называемые революционные эпохи в физике не меняли ее основ чаще и решительнее, чем это было на самом деле.

Первая попытка установления единой теоретической основы, представлена в трудах Ньютона. В его системе все сводится к следующим понятиям: (1) материальные точки с неизменяющейся массой; (2) действие на расстоянии между двумя материальными точками; (3) закон движения материальной точки. Эта система не была, строго говоря, всеобъемлющей основой, поскольку закон действия на расстоянии был сформулирован явно только для гравитации, тогда как для всех остальных дальних действий было установлено априори лишь равенство действия и противодействия. Кроме того, Ньютон полностью отдавал себе отчет, что время и пространство являются существенными элементами, эффективными физическими факторами, хотя в его системе это лишь подразумевалось.

Построенный Ньютоном фундамент оказался исключительно плодотворным и до конца XIX в. считался незыблемым. Он не только позволил объяснить до малейших деталей движение небесных тел, но и создал механику дискретных и непрерывных масс, дал простое объяснение принципа сохранения энергии и блестящую законченную теорию тепла.

Объяснения электродинамических явлений были несколько искусственными; наименее убедительной с самого начала была его теория света.

Не удивительно, что Ньютон не хотел ничего слышать о волновой теории света; такая теория была наиболее далекой от его общетеоретических воззрений. Предположение, что пространство заполнено состоящей из материальных точек средой, единственным механическим свойством которой является способность передавать свет, должно было ему казаться искусственным. Наиболее веские аргументы в пользу волновой природы света, как-то: конечность скорости его распространения, интерференция, дифракция, поляризация — были либо вовсе неизвестны, либо не систематизированы. Поэтому было естественно, что он остался на точке зрения корпускулярной теории света.

В течение XIX в. дискуссия завершилась победой волновой теории. Тем не менее по поводу возможности механистического обоснования физики не выражалось никакого сомнения, в первую очередь потому, что никто не знал, где найти обоснование другого рода. Только постепенно, под неотразимым давлением фактов, развилась новая основа физики — физика поля.

Еще со времен Ньютона теорию дальнего действия всегда считали искусственной. Прилагались усилия объяснить гравитацию кинетически, т. е. на основе сил соударения между гипотетическими материальными частицами. Но эти попытки были поверхностными и ничего не дали. Была также выявлена странная роль, которую играло пространство (или инерциальная система) в основании механики; особенно четко ее критиковал Эрнст Мах.

Великая перемена была осуществлена Фарадеем, Максвеллом и Герцем, правда, несколько неосознанно и против их воли. Всю свою жизнь все трое считали себя сторонниками механической теории. Герц нашел простейшую форму уравнений электромагнитного поля и заявил, что любая теория, ведущая к этим уравнениям, совпадает с теорией Максвелла. Но к концу своей короткой жизни он написал работу, где представил в качестве основы физики механическую теорию, освобожденную от понятия силы.

Нам, которые впитали идеи Фарадея, так сказать, с молоком матери, трудно оценить их величие и смелость. Благодаря своему безошибочному инстинкту Фарадей хорошо понимал, насколько искусственны все попытки сведения электромагнитных явлений к взаимодействию на расстоянии электрических частиц. Каким образом каждое зерно в металлических опилках, разбросанных на листке бумаги, могло знать об электрических частицах, циркулирующих в близлежащем проводнике? Казалось, что все эти электрические частицы, взятые вместе, создают в окружающем пространстве определенное состояние, которое, в свою очередь, производит

определенное упорядочение в опилках. Эти состояния пространства, сегодня называемые полями, могли, по мнению Фарадея, объяснить таинственные электромагнитные взаимодействия, как только удалось бы понять их геометрическую структуру и взаимное воздействие. Он представлял себе эти поля как состояния механического натяжения среды, заполняющей пространство, подобно состояниям натяжения в упруго-растянутом теле. В то время это был единственный способ представления состояний, казавшихся непрерывно распределенными в пространстве. Особый характер механической интерпретации этих полей оставался на втором плане — своего рода успокоение научной совести перед лицом механической традиции времен Фарадея. С помощью этих концепций поля Фарадею удалось дать качественное представление всего комплекса электромагнитных эффектов, открытых им и его предшественниками. Формулировка точных пространственно-временных законов этих полей была делом Максвелла. Вообразите себе охватившие его чувства, когда полученные им дифференциальные уравнения показали, что электромагнитные поля распространяются в виде поляризованных волн со скоростью света. Мало кому из людей в мире довелось испытать такое! В этот радостный момент он, безусловно, не подозревал, что таинственная природа света, казавшаяся полностью выясненной, будет приводить в замешательство еще и последующие поколения. Между тем физикам понадобилось несколько десятилетий, чтобы понять все значение открытия Максвелла; настолько дерзким был вызванный его гением скачок вперед по сравнению с концепциями его современников. Спротивление новой теории было сломлено только после того, как Герц экспериментально доказал существование максвелловских электромагнитных волн.

Но если электромагнитное поле может существовать как волна, независимо от материального источника, то электростатическое взаимодействие уже не может быть объяснено действием на расстоянии. А то, что было верно для электрического действия, не могло не быть верным и для гравитации. Поэтому ньютоновское дальное действие уступило место полям, распространяющимся с конечной скоростью.

Из всего ньютоновского фундамента теперь оставались только материальные точки и законы их движения. Но Дж. Дж. Томсон показал, что, согласно теории Максвелла, находящееся в движении электрически заряженное тело обладает магнитным полем, энергия которого проявляется точно так же, как если бы возросла кинетическая энергия тела. Если, таким образом, часть кинетической энергии представляет собой энергию поля, то нельзя было бы утверждать это о всей кинетической энергии? Быть может, основное свойство материи, ее инерция, объясняется в рамках теории поля? Этот вопрос привел к задаче толкования материи в терминах теории поля; решение ее должно объяснить атомистическую структуру

материи. Но вскоре выяснилось, что теория Максвелла не в состоянии выполнить эту программу. С тех пор многие ученые с большим рвением пытались дополнить теорию поля некоторым обобщением, которое содержало бы теорию материи; но до сих пор эти попытки не увенчались успехом. Для построения теории недостаточно иметь ясное понятие о цели. Необходимо также иметь определенную формальную точку зрения, которая в достаточной степени ограничивала бы бесконечное разнообразие возможностей. Пока она не найдена; следовательно, теории поля не удалось дать основу для всей физики.

Несколько десятилетий большинство ученых думало, что для теории Максвелла можно найти некоторую механическую опору. Но малопродуктивные результаты их усилий заставили постепенно принять новую концепцию поля в качестве несводимых основных принципов; другими словами, физики примирились с отказом от идеи механического обоснования.

Таким образом, физики стали придерживаться программы теории поля. Но она не могла считаться фундаментальной, потому что никто не мог сказать, сможет ли последовательная теория поля когда-нибудь объяснить, с одной стороны, гравитацию, а, с другой — элементарные составляющие материи. При таком положении вещей было необходимо представлять материальные частицы как подчиняющиеся законам движения Ньютона. Именно так поступил Лоренц, создавая свою электронную теорию и теорию электромагнитных явлений в движущихся телах.

В таком состоянии находился вопрос об основных понятиях в начале нашего века. Был достигнут колоссальный прогресс в теоретическом понимании целых групп новых явлений, но установление единой основы для всей физики казалось делом далекого будущего. И это положение вещей усугубилось последующим развитием. В нашем веке развитие определяется двумя теоретическими системами, существенно независимыми друг от друга: теорией относительности и квантовой теорией. Эти две теории прямо не противоречат друг другу, но они кажутся малоприспособленными для объединения в единую теорию. Мы должны коротко обсудить основную идею этих двух систем.

Теория относительности зародилась из попыток усовершенствовать, исходя из экономии мысли, существовавшее в начале этого столетия обоснование физики. Так называемая специальная теория относительности основывается на том факте, что уравнения Максвелла (а следовательно, и закон распространения света в пустоте) инвариантны по отношению к преобразованиям Лоренца. К этому формальному свойству уравнений Максвелла добавляется достоверное знание нами того эмпирического факта, что законы физики одинаковы во всех инерциальных системах. Отсюда вытекает, что переход от одной инерциальной системы к другой

должен описываться преобразованиями Лоренца, применяемыми к пространственно-временным координатам. Следовательно, содержание специальной теории относительности может быть резюмировано одним предложением: все законы природы должны быть так определены, чтобы они были ковариантными относительно преобразований Лоренца. Отсюда вытекает, что одновременность двух пространственно-удаленных событий не является инвариантным понятием, а размеры твердых тел и ход часов зависят от их состояния движения. Другим следствием является видоизменение ньютоновского закона движения в случае, когда скорость данного тела не мала по сравнению со скоростью света. Между прочим, отсюда вытекал принцип эквивалентности массы и энергии, а законы сохранения массы и энергии объединились в один-единственный закон. Но раз было доказано, что одновременность относительна и зависит от системы отсчета, исчезла всякая возможность сохранить в основах физики дальное действие, ибо это понятие предполагало абсолютный характер одновременности (должна существовать возможность констатации положения двух взаимодействующих материальных точек «в один и тот же момент»).

Общая теория относительности обязана своим происхождением попытке объяснить известный еще со времен Галилея и Ньютона, но не поддающийся никакой теоретической интерпретации факт: два совершенно отличных друг от друга свойства, инертность и тяжесть, измеряются одной и той же константой — массой. Из этого соответствия следует, что экспериментально невозможно установить, движется ли заданная система координат ускоренно или она движется равномерно и прямолинейно, а наблюдаемые эффекты обусловлены полем тяготения (в этом и состоит принцип эквивалентности общей теории относительности). Введение гравитации развенчало понятие об инерциальной системе. Здесь уместно заметить, что инерциальная система является слабым местом механики Галилея — Ньютона, ибо физическому пространству приписывалось некоторое таинственное свойство, обуславливающее вид системы координат, для которой справедливы закон инерции и ньютоновский закон движения.

Этих трудностей можно избежать с помощью следующего постулата: законы природы должны формулироваться так, чтобы их форма оставалась идентичной для систем координат при любом состоянии их движения. В этом состоит задача общей теории относительности. С другой стороны, из специальной теории относительности мы вывели существование в пространственно-временном континууме римановой метрики, которая, в соответствии с принципом эквивалентности, описывает и гравитационное поле, и метрические свойства пространства. Предполагая, что уравнения гравитационного поля являются дифференциальными уравнениями второго порядка, мы четко определяем закон поля.

Наряду с этим теория освободила физику поля от неспособности (ею она страдала наравне с ньютоновской механикой) приписывать пространству те независимые физические свойства, которые раньше маскировались применением инерциальной системы. Однако нельзя претендовать на то, что те части общей теории относительности, которые сегодня уже можно считать законченными, представляют собой полный и удовлетворительный фундамент физики. Во-первых, полное поле кажется состоящим из двух логически несвязанных частей: гравитации и электромагнетизма. Во-вторых, эта теория, подобно прежним теориям поля, до сих пор не дала объяснения атомистической структуре материи. Эта неудача связана очевидно с тем, что теория до сих пор ничем не способствовала пониманию квантовых явлений. Чтобы понять эти явления, физики вынуждены принять совершенно новые методы, основную характеристику которых мы сейчас рассмотрим.

В 1900 г. в ходе чисто теоретического исследования Планк сделал замечательное открытие: закон теплового излучения тел не может быть выведен только из законов электродинамики Максвелла. Чтобы прийти к результатам, согласующимся с опытами, о которых идет речь, излучение заданной частоты должно трактоваться как состоящее из отдельных атомов (или квантов) энергии $h\nu$, где h — универсальная постоянная Планка, ν — частота. В последующие годы было доказано, что свет всегда излучается и поглощается такими квантами энергии. В частности, Нильс Бор сумел понять строение атома, предполагая, что атомы могут обладать только дискретными значениями энергии и что скачкообразные переходы между этими значениями связаны с излучением и поглощением такого кванта энергии. Это пролило некоторый свет на то обстоятельство, что в газообразном состоянии элементы и их соединения излучают и поглощают свет только совершенно определенных частот. Все это было абсолютно необъяснимо в рамках существовавших теорий. Стало ясно, что в атомных явлениях, по крайней мере, характер всего происходящего определяется дискретными состояниями и скачкообразными, по-видимому, переходами между ними, причем постоянная Планка играет решающую роль.

Следующий шаг был сделан Луи де Бройлем. Он поставил вопрос о возможности понимания дискретных состояний с помощью привычных понятий и угадал аналогию со стоячими волнами, которые встречаются, например, в случае собственных частот органических труб и струн в акустике. Конечно, требуемые здесь волновые процессы не были известны, но их можно было построить, а их математические законы можно было формулировать, используя постоянную Планка h . Де Бройль представил себе, что с вращающимся вокруг атомного ядра электроном связан цуг таких гипотетических волн, и в определенной степени объяснил дискретный

характер «разрешенных» боровских орбит стационарным характером соответствующих волн.

Однако в механике движение материальных точек определяется силами или полями сил, действующих на эти точки. Следовало ожидать, что эти поля сил будут аналогичным образом оказывать влияние на волновые поля де Бройля. Эрвин Шредингер показал, как можно учесть это влияние, предложив искусный метод новой интерпретации некоторых формул классической механики. Ему удалось также настолько расширить волновую механику, что она могла применяться к любой механической системе, состоящей из произвольного числа материальных точек, т. е. обладающей произвольным числом степеней свободы. Это было возможно потому, что механическая система, состоящая из n материальных точек, в значительной мере математически эквивалентна одной материальной точке, движущейся в пространстве $3n$ измерений.

На основе этой теории удалось удивительно хорошо представить огромное разнообразие фактов, которые иначе казались совершенно непостижимыми. Но странным образом Шредингера постигла неудача: оказалось невозможным ассоциировать с этими волнами определенные движения материальных точек, — а ведь именно в этом состояла первоначальная цель всего построения.

Трудность казалась непреодолимой, пока ее не победил Борн способом столь же простым, сколь и неожиданным. Волновые поля де Бройля — Шредингера не должны были трактоваться как математическое описание реального протекания события во времени и в пространстве, хотя они действительно имеют отношение к такому событию. Они являются скорее математическим описанием того, что мы можем в действительности знать о системе. Они служат только для представления статистических высказываний и предсказаний относительно результатов всех измерений, которые можно произвести над системой.

Проиллюстрируем эти общие черты квантовой механики простым примером: рассмотрим материальную точку, удерживаемую в ограниченной области G силами конечной интенсивности. Если кинетическая энергия материальной точки ниже определенного предела, то, согласно классической механике, она никогда не сможет покинуть область G . Но, согласно квантовой механике, через определенный период, который нельзя непосредственно предсказать, материальная точка способна покинуть область G в непредвиденном направлении и проникнуть в окружающее пространство. Этот случай представляет, по Гамову, упрощенную модель радиоактивного распада.

Квантовая механика следующим образом трактует этот случай: в момент t_0 мы имеем систему шредингеровских волн, полностью заключенных внутри G . Но, начиная с момента времени t_0 , волны покидают об-

ласть G по всем направлениям так, что амплитуда выходящих волн мала по сравнению с начальной амплитудой системы волн внутри G . Чем дальше распространяются эти волны, тем сильнее уменьшается амплитуда волн внутри G , а в соответствии с этим и амплитуда последующих волн, покидающих G . Только через бесконечно большой промежуток времени запас волн внутри G исчерпается, тогда как внешняя волна охватит все большее пространство.

Но какое отношение имеет этот волновой процесс к вопросу, который нас интересовал прежде всего, — к частице, первоначально заключенной в G ? Чтобы ответить на этот вопрос, мы должны вообразить себе некоторое устройство, позволяющее производить измерения над частицей. Вообразим себе, например, где-то в окружающем пространстве такого рода экран, что, входя с ним в контакт, частица останавливается. По интенсивности волн, падающих на экран в некоторой точке, мы можем делать заключения о вероятности попадания частицы на экран в этой точке в данный момент времени. Как только частица ударилась в какую-нибудь определенную точку экрана, все волновое поле теряет весь свой смысл; его единственным назначением было сделать вероятностные предсказания относительно места и времени встречи частицы с экраном (или, например, относительно величины количества движения частицы в момент этой встречи).

Все остальные случаи аналогичны. Целью теории является определение вероятности результатов измерений в системе в заданный момент времени. С другой стороны, она не пытается дать математическое представление того, что действительно имеет место, или того, что происходит в пространстве и во времени. В этом пункте современная квантовая теория радикально отличается от всех предшествующих физических теорий как механических, так и полевых. Вместо того, чтобы дать модель для изображения реальных пространственно-временных событий, она дает распределения вероятности для возможных измерений как функций времени.

Надо признать, что новая теоретическая концепция обязана своим происхождением не взлету фантазии, а непреодолимой силе опытных фактов. Все попытки представить частицу и волновые свойства, проявляющиеся в явлениях, связанных со светом и веществом, непосредственно пространственно-временной моделью, до сих пор кончались неудачно. Как убедительно показал Гейзенберг, всякое утверждение о строго детерминистической структуре природы с эмпирической точки зрения окончательно исключается из-за атомистического строения приборов, применяемых в наших экспериментах. По-видимому, никакое будущее познание не сможет заставить физиков отказаться от нашего современного статистического основания физики в пользу детерминистического основания,

которое имело бы дело непосредственно с физической реальностью. Логически проблема дает, по-видимому, две возможности, из которых мы, в принципе, можем избрать одну. В конце концов выбор будет определен тем, какое описание позволит формулировать логически простейшие основы. В настоящее время мы не владем детерминистской теорией, которая позволяла бы описывать непосредственно сами события в согласии с реальными фактами и их связь.

Пока мы должны признать, что не имеем для физики общей теоретической основы, которую можно было бы считать ее логическим фундаментом. Теория поля до сих пор терпела неудачи в молекулярной области. Всеми признано, что единственный принцип, который мог бы служить основой для квантовой теории, может быть получен переводом теории поля на схему квантовой статистики. Но никто не отважится сказать, когда это действительно будет сделано удовлетворительным образом.

Некоторые физики, в том числе и я сам, не могут поверить, что мы раз и навсегда должны отказаться от идеи прямого изображения физической реальности в пространстве и времени или что мы должны согласиться с мнением, будто явления в природе подобны азартным играм. Каждому дозволено выбрать направление приложения своих усилий, и каждый человек может найти утешение в прекрасном изречении Лессинга, что искать истину благороднее, чем обладать ею.

Статья опубликована в сб. «Out of My later Years» (1950) и «Ideas and Opinions» под заголовком «Основы теоретической физики». Русский перевод был напечатан в журнале «Под знаменем марксизма» (1940, № 12) под заголовком «Соображения к обоснованию теоретической физики», а также в сб. «Физика и реальность» под заголовком «Основы теоретической физики».

СВОБОДА И НАУКА *

I

На первый взгляд свобода и наука не связаны между собой слишком тесно. Во всяком случае, свобода может отлично существовать и без науки, т. е. существовать в той мере, в какой может жить без науки человек с его врожденным стремлением к познанию. Но что значит наука без свободы?

Человеку науки прежде всего необходима духовная свобода, ибо он должен пытаться сбросить с себя оковы предрассудков и, какой бы авторитетной ни была установившаяся концепция, постоянно убеждаться в том, что она остается верной и после появления новых фактов. Поэтому интеллектуальная независимость для ученого-исследователя является самой насущной необходимостью. Но и политическая свобода также чрезвычайно важна для его работы. Он должен иметь возможность высказывать то, что считает правильным, и это не должно сказываться на его материальном положении или ставить под угрозу его жизнь. Все это совершенно ясно, если речь идет об исторических исследованиях, но является также и жизненно важной предпосылкой всякой научной деятельности, как бы далека она ни была от политики. Если некоторые книги запрещены и становятся недоступными потому, что политическая ориентация или национальность их автора неугодна правительству, как это часто бывает в наши дни, исследователь не сможет найти достаточно прочное основание, на которое он мог бы опереться. А как может стоять здание, если у него нет прочного фундамента?

Ясно, что абсолютная свобода представляет собой идеал, который нельзя реализовать в нашей общественной и политической жизни. Но все люди доброй воли должны стремиться к тому, чтобы способствовать усилиям человечества, направленным на все более полное осуществление этого идеала.

* *Freedom and Science*. В сб. «Freedom: its Meaning». Ed. Ruth N. Anshen. New York, 1940.

II

Я знаю, насколько безнадежно затевать дискуссию о справедливости принципиальных суждений. Например, если кто-нибудь считает достойной целью полное уничтожение человеческой расы на земле, то подобную точку зрения рациональными доводами опровергнуть нельзя. Но если условиться каким-нибудь образом о целях и ценностях, то можно рационально судить о тех средствах, которыми можно воспользоваться для достижения этих целей. Укажем поэтому две цели, с которыми, по-видимому, согласятся почти все, кто прочтет эти строки.

1. Блага, служащие для поддержания жизни и здоровья всех людей, должны производиться с наименьшей затратой труда.

2. Удовлетворение физических потребностей, бесспорно, является необходимой предпосылкой удовлетворительного существования, но само по себе недостаточно. Для того, чтобы быть удовлетворенным, человек должен еще иметь возможность развивать свои интеллектуальные и художественные способности в соответствии с личными склонностями и способностями.

Первая из этих целей требует дальнейшего развития всех знаний о законах природы и общественных процессах, т. е. дальнейшего развития всех научных исследований, ибо научное исследование представляет собой естественное целое, части которого взаимно поддерживают друг друга. Разумеется, никто не может заранее сказать, как осуществится эта взаимная поддержка; однако прогресс науки предполагает возможность неограниченного обмена всеми результатами и мнениями, свободу мнений и обучения во всех областях научного исследования. Под свободой я понимаю такие общественные условия, когда высказывание мнений и убеждений по общим и частным проблемам познания не влечет за собой опасности или серьезного ущерба для того, кто их высказывает. Свобода общения необходима для развития и расширения научного познания.

Это имеет большое практическое значение. Прежде всего ее необходимо гарантировать законом. Но одни только законы не могут обеспечить свободу высказываний. Чтобы каждый человек мог безнаказанно высказывать свои убеждения, в обществе должен быть силен дух терпимости. Подобного идеала внешней свободы никогда не удастся достичь полностью, но к нему следует неустанно стремиться, если желать прогресса научной мысли, философского и творческого мышления в целом.

Если необходимо обеспечить достижение второй цели, т. е. предоставить всем возможность интеллектуального развития, то необходима внешняя свобода другого рода. Человек не должен столько работать для удовлетворения своих жизненных потребностей, чтобы у него не оставалось ни времени, ни сил для интересующей его деятельности. Без

такой внешней свободы второго рода свобода высказываний для него бесполезна. Если бы проблема разумного распределения труда была решена, то возможность свободы этого рода была обеспечена прогрессом техники.

Развитие науки и творческая деятельность разума в целом требуют еще одной разновидности свободы, которую можно было бы охарактеризовать как внутреннюю свободу. Это — свобода разума, заключающаяся в независимости мышления от ограничений, налагаемых авторитетами и социальными предрассудками, а также от шаблонных рассуждений и привычек вообще. Подобная внутренняя свобода — редкий дар природы и весьма желанная цель для каждого индивидуума. И все же общество может во многом способствовать развитию внутренней свободы, хотя бы тем, что не будет вмешиваться в ее развитие. Школы, например, могут вмешиваться в развитие внутренней свободы под влиянием властей и взваливать на молодых людей излишнюю духовную нагрузку, но точно так же они могут способствовать развитию внутренней свободы, поощряя независимость мышления. Возможность духовного развития и совершенствования, а следовательно, и возможность улучшения внутренней и внешней жизни человека появляется лишь при условии, если внешняя и внутренняя свобода никогда не упускается из виду.

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ И ЛИЧНОСТЬ ВАЛЬТЕРА НЕРНСТА *

Недавно умерший Вальтер Нернст был одним из самых своеобразных и интересных ученых, с которыми я был тесно связан на протяжении всей своей жизни. Он никогда не отказывался от участия в конференциях по физике в Берлине; его краткие замечания свидетельствовали о поистине удивительном научном инстинкте, сочетающемся со знанием огромной массы реальных фактов, которые были всегда в его распоряжении, и с редким владением экспериментальными методами. Он был блистательным мастером эффектных опытов. Хотя мы часто добродушно посмеивались над его детским тщеславием и самодовольством, мы искренне восхищались им и любили его. Пока не затрагивалась его эгоистическая слабость, он проявлял редко встречающуюся объективность, умение безошибочно чувствовать и настоящую страсть к познанию глубоких взаимосвязей в природе. Без такой страсти его в высшей степени созидательное творчество и его заметное влияние на научную жизнь первой трети нашего века были бы невозможны.

Он был последователем Аррениуса, Оствальда, Вант-Гоффа, как последний представитель династии, основывавшей свои исследования на термодинамике, осмотическом давлении и ионной теории. До 1905 г. его работа всецело ограничивалась этим кругом идей. Его теоретический багаж был несколько элементарен, но владел он им с редкой изобретательностью. Сошлюсь, например, на его теорию электродвижущих сил в растворах с локальным изменением концентрации, на теорию уменьшения растворимости путем добавления другого растворяющегося вещества. В этот период он изобрел забавный нулевой метод определения диэлектрической постоянной проводников электричества с помощью мостика Уитстона (переменный ток, телефон в качестве индикатора, компенсирующие емкости в плечах мостика сравнения).

* *The Work and Personality of Walter Nernst*. Scientific Monthly, 1942, 54, 195—196.

Этот первый творческий период в основном посвящен улучшению методов и дополнению исследований в области, где принципы были известны еще до Нернста. Эта работа привела его постепенно к общей проблеме, которую можно охарактеризовать следующим вопросом: возможно ли вычислить, исходя из известной энергии системы при определенных условиях, полезную работу, получаемую при ее переходе из одного состояния в другое? Нернст отдавал себе отчет, что теоретическое определение перехода в работу A разности энергии U с помощью одних лишь уравнений термодинамики невозможно. Из термодинамики можно вывести, что при температуре абсолютного нуля величины A и U должны быть равными. Но нельзя вывести A из U для любых произвольных температур, даже если значения энергии или разностей U известны при всех условиях. Этот расчет невозможен до тех пор, пока в соответствии с соотношением между этими величинами при низких температурах не вводилось определенное предположение, которое вследствие своей простоты казалось очевидным. Это предположение очень простое и состоит в том, что при низких температурах A становится независимой от температуры. Введение этого допущения в качестве гипотезы (третье начало теории теплоты) является наиболее выдающимся вкладом Нернста в теоретическую науку. Позже Планк нашел теоретически более удовлетворительное решение, а именно, что при абсолютном нуле энтропия равна нулю.

С точки зрения более старых воззрений о теплоте, это третье начало требует существования весьма странных связей между телами при низких температурах. Благодаря точности этого принципа, были значительно усовершенствованы методы калориметрии при низких температурах. Калориметрия высоких температур также значительно обязана Нернсту своим развитием. Своими исследованиями, как и многими стимулирующими советами, которые он изобретательно и неустанно поставлял экспериментаторам, работающим в его области, Нернст весьма действенно продвинул поисковую работу своего поколения. Важные результаты этих калориметрических исследований помогли возникновению квантовой теории, особенно до того, как теория атома Бора сделала спектроскопию наиболее важной областью эксперимента. Классическая работа Нернста, озаглавленная «Теоретическая химия», содержит обилие стимулирующих идей не только для студентов, но и для ученых; она написана теоретически элементарно, но умно, живо и полна упоминаний о множестве взаимосвязей. Она поистине отражает характер его интеллекта.

Нернст был не только ученым. Его солидный здравый смысл втягивал его в успешные занятия всеми областями практической жизни; в беседах с ним всегда выявлялось что-нибудь интересное. Что отличало его почти от всех его соотечественников, — так это отсутствие предвзятости. Он не

был ни националистом, ни милитаристом. Он судил о вещах и людях почти исключительно по их достижениям, а не по какому-то социальному или моральному идеалу. Он интересовался литературой и обладал чувством юмора в такой мере, которая редко встречается у людей, так сильно загруженных столь трудной работой. Это была своеобразная личность; я никогда не встречал кого-либо, кто походил бы на него.

Русский перевод опубликован в сб. «Физика и реальность».

ВСЕОБЩИЙ ЯЗЫК НАУКИ *

Первый шаг на пути к созданию языка заключался в выражении впечатлений от событий с помощью символов, звуков или каких-нибудь иных способов. Весьма вероятно, что столь примитивного уровня общения достигли, по крайней мере в известной степени, все животные, живущие сообществами. Более высокая ступень в общении достигается, когда вводят новые символы, уславливаются о том, что означают эти символы, и выражают отношение к событиям, обозначаемым ими. На этом этапе уже можно сообщать о более сложных последовательностях событий. Так рождается язык. Если язык должен служить всеобщему взаимопониманию, то те, кто им пользуется, должны придерживаться единых правил для символов, с одной стороны, и событий и связей между событиями, — с другой. Проблема овладения этими правилами решается теми, кто говорит на одном языке, в основном чисто интуитивно в детстве. Когда же эти правила осмысливаются, возникает то, что называют грамматикой. На ранней стадии каждое отдельное слово языка может соответствовать впечатлению. На более поздних стадиях такая прямая связь утрачивается, поскольку по крайней мере некоторые слова выражают впечатления только в комбинации с другими словами (например, слова «быть» или «вещь»). Теперь уже не отдельные слова ставятся в соответствие впечатлениям, а комбинации слов отвечают группам впечатлений. При этом язык становится отчасти независимым от первоначальных впечатлений и достигается его большая внутренняя связанность и самостоятельность. Только на этом более высоком этапе развития, когда появляется достаточно много абстрактных понятий, язык становится инструментом мышления в подлинном смысле этого слова. Но именно здесь язык становится источником опасных ошибок и заблуждений. Все зависит от того, в какой мере слова и их комбинации соответствуют миру впечатлений.

* *The Common Language of Science. Advancement of Science, 1942, II, 109.*

На чем же основана столь тесная связь между языком и мышлением? Разве нельзя мыслить, пользуясь не языком, а лишь понятиями и комбинациями понятий, для которых невозможно подобрать слова? Разве не случалось каждому из нас подыскивать слово уже после того, как он ясно осознал связь между предметами? Мы были бы склонны приписывать акту мышления полную независимость от языка, если бы индивидуум формировал или мог формировать свои представления, не общаясь с другими людьми посредством языка. И все же, весьма вероятно, что мышление индивидуума, выросшего в подобных условиях, было бы очень ограниченным. Отсюда мы должны заключить, что умственное развитие индивидуума и в особенности характер формирования и комбинирования понятий в значительной мере связаны с языком. Следовательно, одинаковый язык означает одинаковое мышление. В этом смысле мышление и язык связаны друг с другом.

Что же отличает язык науки от языка в обычном смысле? Как объяснить, что язык науки в целом понятен каждому? Наука стремится к предельной точности и ясности понятий, их взаимосвязи и соответствия чувственным данным.

Рассмотрим в качестве примера язык евклидовой геометрии и алгебры. Имеется небольшое число вводимых независимо понятий и символов, таких, как число, прямая, точка, и фундаментальные правила комбинирования этих понятий. Вместе они образуют основу для построения или определения всех упорядоченных утверждений и других понятий. Связь между понятиями и утверждениями, с одной стороны, и данными чувственных ощущений — с другой, устанавливается путем операций счета и измерения, определенных с достаточной четкостью. Наднациональный характер научных понятий и научного языка обусловлен тем, что они были созданы лучшими умами всех времен и народов. В одиночестве (и тем не менее в совместном усилии, если рассматривать их конечную цель) они создали духовные орудия для технической революции, преобразившей за последнее столетие жизнь человечества. Созданная ими система понятий служила путеводной нитью в диком хаосе чувственных восприятий и научила нас извлекать общие истины из частных наблюдений.

Какие надежды и страхи принесет человечеству научный метод? Не думаю, чтобы этот вопрос был поставлен правильно. То, что может сотворить какое-либо устройство в руках людей, зависит исключительно от характера тех целей, которые ставит перед собой человечество. Коль скоро эти цели намечены, научный метод указывает средства для достижения их. Указывать же эти цели научный метод не может. Научный метод сам по себе не мог бы ни к чему привести и даже вообще не мог бы появиться, не будь у человека страстного стремления к ясному понима-

нию. Я считаю, что наш век характеризуется развенчиванием целей и совершенствованием средств для их достижения. Если мы страстно стремимся к безопасности, благосостоянию и свободному развитию всех людей, то должны найти и средства для достижения этого состояния. Если к этому стремится даже небольшая часть человечества, то время докажет правильность ее устремлений.

Статья напечатана в сб. «Out of My later Year» и «Ideas and Opinions». Русский перевод помещен в «Эйнштейновском сборнике» (М., 1966).

ЗАМЕЧАНИЯ О ТЕОРИИ ПОЗНАНИЯ БЕРТРАНА РАССЕЛА *

Когда редактор этого издания обратился ко мне с просьбой написать что-нибудь о Бертрane Расселе, мое восхищение этим ученым и уважение к нему заставили меня сразу же согласиться. Много счастливых часов я провел за чтением трудов Бертрана Рассела. Я не могу сказать этого ни о ком другом из современных ученых, за исключением Торстейна Веблена. Однако вскоре я обнаружил, что дать обещание легче, чем его выполнить. Я обещал сказать что-нибудь о Расселе как философе и ученом, занимающемся теорией познания. Самоуверенно взяв на себя эту задачу, я вскоре, однако, осознал, в какую скользкую область пришлось мне вступить, не обладая к тому же никаким опытом, ибо до сих пор я предсудомнительно ограничивал свою деятельность областью физики. В наше время физик вынужден заниматься философскими проблемами в гораздо большей степени, чем это приходилось делать физикам предыдущих поколений. К этому физиков вынуждают трудности их собственной науки. Хотя в этой статье я не буду останавливаться на этих трудностях, именно размышления над ними в гораздо большей степени, чем что-либо еще, заставили меня встать на ту точку зрения, которая будет кратко изложена в настоящей работе.

В процессе развития философской мысли на протяжении столетий первостепенное значение имел следующий вопрос: что может дать познанию чистое мышление независимо от чувственного восприятия. Возможно ли познание, основанное на чистом мышлении? Если же нет, то каково соотношение между познанием и тем сырым материалом, которым являются наши ощущения? Ответам на эти и некоторые другие вопросы, тесно с ними связанные, соответствует почти необозримый хаос философских воззрений. И все же среди этих сравнительно бесплодных, хотя и героич-

* *Remarks on Bertrand Russell's theory of Knowledge.* В кн.: «The philosophy of Bertrand Russell». Ed. by Paul Arthur Schillp. The library of living philosophers, v. 5. Northwestern University, 1944, 278—291.

ческих усилий, можно усмотреть одну последовательную тенденцию развития, а именно: все возрастающий скептицизм по отношению ко всякой попытке узнать что-либо об «объективном мире» (в отличие от мира одних лишь «концепций и идей») с помощью одного лишь чистого мышления. Заметим в скобках, что мы как настоящие философы воспользовались здесь кавычками для того, чтобы ввести незаконное понятие. Мы просим читателя разрешить нам на некоторое время употребление этого понятия, хотя в глазах философской полиции оно подозрительно.

Во времена, когда философия переживала период своего детства, было распространено убеждение, что с помощью одного лишь чистого мышления можно познать все, что угодно. Эту иллюзию нетрудно понять, если на мгновение отказаться от всего, что нам известно из более современной философии и естественных наук. Вряд ли кто-нибудь удивится, узнав, что Платон считал более реальными «идеи», чем эмпирически воспринимаемые нами вещи. У Спинозы и даже у Гегеля этот предрассудок является той жизненной силой, которая все еще призвана играть главную роль. Разумеется, можно было бы поставить вопрос о том, можно ли вообще достичь сколько-нибудь значительного результата в области философской мысли, если не прибегать к этой иллюзии или чему-либо аналогичному ей; но мы такого вопроса ставить не будем.

Аристократическая иллюзия о неограниченной проникаемости чистого мышления имеет своего двойника — значительно более плебейскую иллюзию наивного реализма, согласно которому все вещи «существуют» в том виде, в каком их воспринимают наши чувства. В обыденной жизни человека и животных господствует именно эта иллюзия. Она же служит отправным пунктом всех наук, в особенности естественных.

Попытки преодолеть обе эти иллюзии нельзя считать независимыми друг от друга. Преодоление наивного реализма было сравнительно просто. Во введении к своей работе «Исследование смысла и истины» (*An Inquiry into Meaning and Truth*) Рассел дал необычайно красочную характеристику этого процесса: «Мы все начинаем с «наивного реализма», т. е. с учения, согласно которому все вещи представляют собой именно то, что мы видим. Мы думаем, что трава зеленая, камни твердые, а снег холодный. Но физика уверяет нас, что зелень травы, твердость камня и холодный снег не являются той зеленью, твердостью или тем холодом, с которыми мы знакомы по собственному опыту, а чем-то весьма отличным. Наблюдатель, когда ему кажется, что он видит камень, на самом деле, если верить физике, наблюдает эффекты, связанные с воздействием на него камня. Таким образом, мы видим, что наука воюет сама с собой: стремясь изо всех сил быть объективной, она против своей воли оказывается погруженной в субъективизм. Наивный реализм приводит к физике, а физика, если она верна, показывает, что наивный реализм ложен.

Таким образом, если наивный реализм истинен, то он ложен. Следовательно, он ложен.»

Даже если отвлечься от мастерской формулировки, эти строки говорят мне нечто такое, что мне никогда не приходилось встречать прежде; в самом деле, при поверхностном рассмотрении образ мышления Беркли и Юма кажется резко отличающимся от образа мыслей, принятого в естественных науках. Связь же между этими образами мышления раскрывает только что цитированное замечание Рассела. Когда Беркли исходит из того, что наши органы чувств воспринимают непосредственно не «предметы» внешнего мира, а лишь процессы, причинно связанные с существованием этих предметов, то убеждение в правильности этого рассуждения основывается на нашем убеждении в правильности физического образа мыслей. Ибо если усомниться в физическом образе мыслей даже в его наиболее общих чертах, то отпадает всякая необходимость вводить что-либо между объектом и актом его наблюдения, что отделяло бы объект от субъекта и делало бы проблематичным «существование объекта».

Однако именно тот же физический образ мышления и его практические успехи поколебали уверенность в возможности познания вещей и связей между ними с помощью чисто умозрительных средств. Постепенно получило признание убеждение, согласно которому все наше знание о вещах состоит исключительно из переработанного сырья, доставляемого нашими органами чувств. В столь общем (и еще несколько нечетко сформулированном виде) это утверждение в настоящее время является, по видимому, общепринятым. Однако это убеждение покоится не на предположении о том, что кто-то в действительности доказал невозможность получения знания о реальности с помощью чистого мышления, а скорее на том, что эмпирическая (в упомянутом выше смысле) процедура уже доказала, что может быть источником знания. Этот принцип впервые с полной ясностью и четкостью был выдвинут Галилеем и Юмом.

Юм понимал, что те понятия, которые следует считать существенными (такие, например, как причинная связь), нельзя получить из материала, доставляемого нашими чувствами. Понимание этого обстоятельства вызвало у него скептическое отношение ко всякого рода знаниям. Читая книги Юма, поражаешься тому, как много (причем иногда весьма уважаемых) философов после него могли писать столько невежественных вещей и даже находить для своих писаний благодарных читателей. Юм оказал свое влияние на развитие лучших философов, живших после него. Дух Юма чувствуется и при чтении философских трудов Рассела, чья точность и простота выражений часто напоминала мне Юма.

Человек стремится к достоверному знанию. Именно поэтому обречена на неудачу миссия Юма. Сырой материал, поступающий от органов чувств, — единственный источник нашего познания, может привести нас по-

степенно к вере и надежде, но не к знанию, а тем более к пониманию закономерностей. Тут на сцену выходит Кант. Предложенная им идея, хоть и была неприемлема в своей первоначальной формулировке, означала шаг вперед в решении юмовской дилеммы: все в познании, что имеет эмпирическое происхождение, недостоверно (Юм). Следовательно, если мы располагаем достоверным знанием, то оно должно быть основано на чистом мышлении. Например, так обстоит дело с геометрическими теоремами и с принципом причинности. Эти и другие типы знания являются, так сказать, частью средств мышления и поэтому не должны быть сначала получены из ощущений (т. е. они являются априорным знанием). В настоящее время всем, разумеется, известно, что упомянутые выше понятия не обладают ни достоверностью, ни внутренней необходимостью, которые приписывал им Кант. Однако правильным в кантовской постановке проблемы является, на мой взгляд, следующее: если рассматривать с логической точки зрения, то окажется, что в процессе мышления мы, с некоторым «основанием», используем понятия, не связанные с ощущениями.

Я убежден, что на самом деле можно утверждать гораздо большее: все понятия, возникающие в процессе нашего мышления и в наших словесных выражениях, с чисто логической точки зрения являются свободными творениями разума, которые нельзя получить из ощущений. Это обстоятельство нелегко заметить лишь по следующей причине: мы имеем привычку так тесно связывать определенные понятия и суждения с некоторыми ощущениями, что не отдаем себе отчета в том, что мир чувственного восприятия отделен от мира понятий и суждений непроницаемой стеной, если подходить к этому вопросу чисто логически.

Так, например, натуральный ряд чисел, очевидно, является изобретением человеческого ума, создавшего орудие, позволяющее упростить упорядочение некоторых ощущений. Однако не существует способа, с помощью которого это понятие можно было бы вывести непосредственно из наших ощущений. Я специально выбрал понятие числа, ибо оно относится к донаучному мышлению и, несмотря на это, как нетрудно заметить, носит конструктивный характер. Однако чем более простые понятия повседневной жизни мы будем рассматривать, тем труднее нам будет узнавать в понятиях среди множества сложившихся привычек продукты независимого мышления. И тут-то и возникает роковое (роковое для понимания существующего положения вещей) представление о том, что все понятия получаются из ощущений путем «абстракции», т. е. отбрасывания какой-то части их содержания. Теперь я хочу остановиться на том, почему это представление кажется мне роковым.

Если встать на сторону критиков Юма, то нетрудно прийти к мысли о том, что все понятия и суждения, не выводимые из чувственных восприятий ввиду их «метафизического» характера, должны быть изъяты из мыш-

ления, ибо материалистичность мышления проявляется только в его связи с чувственным восприятием. Я считаю последнее утверждение абсолютно правильным, но основанное на нем предписание относительно того, что следует изъять из сферы мышления,— ложным. Это требование, если его проводить последовательно, полностью исключает всякое мышление как «метафизическое».

Чтобы мышление не вырождалось в «метафизику» или в пустую болтовню, необходимо лишь прочно связывать достаточное количество суждений в системе понятий с чувственными восприятиями, а система понятий, используемая для упорядочения чувственных восприятий и представления их в обозримом виде, должна быть по возможности единой и экономно построенной. В остальном эта «система» представляет собой свободную (т. е. любую логически возможную) игру с символами в соответствии с (логически) произвольно заданными правилами игры. Все сказанное применимо как к мышлению в повседневной жизни, так и к гораздо более сознательно и систематически построенному научному мышлению.

Что здесь имеется в виду, станет ясно из сказанного ниже. Своей ясной критикой Юм не только дал решающий толчок развитию философии, но и породил опасность для философии (хотя в этом его вины нет). Эта опасность заключается в роковой «боязни метафизики», ставшей какой-то болезнью современного эмпирического философствования. Эта боязнь является двойником более раннего философствования, когда считали, что чувственными восприятиями можно пренебречь и обойтись совсем без них.

Несмотря на то восхищение, которое испытываешь перед остроумным анализом, данным Расселом в его последней книге «Смысл и истина» («Meaning and Truth»), все же ощущается, что и в этом случае дух метафизической боязни нанес некоторый урон. Например, мне кажется, что этот страх вынудил рассматривать «вещи» как «наборы качеств», причем сами «качества» должны браться из чувственных восприятий. Далее, тот факт, что две вещи считают одной и той же вещью, если все их качества совпадают, заставляет рассматривать геометрические соотношения между вещами как отношения, определяемые их качествами. (В противном случае придется считать, что Эйфелева башня в Париже и в Нью-Йорке представляют собой «одну и ту же вещь».) И даже, несмотря на это, я не вижу никакой «метафизической» опасности в том, чтобы включить в систему в качестве независимого понятия вещь (объект в смысле физики) вместе с ее соответствующей пространственно-временной структурой.

Именно поэтому мне было особенно приятно узнать из последней главы этой книги, что в конце концов без «метафизики» обойтись нельзя.

ПРЕДИСЛОВИЕ К КНИГЕ РУДОЛЬФА КАЙЗЕРА „СПИНОЗА“*

Вряд ли могут проникательные люди с острой восприимчивостью избежать чувства подавленности и одиночества, сталкиваясь с ужасными событиями нашего времени. Уверенность в неуклонном движении человечества на пути к прогрессу, вдохновлявшая людей в XIX веке, уступила место всеобщему разочарованию. Разумеется, никто не может отрицать успехов, достигнутых в области науки, и технических новшеств, но на своем собственном опыте мы знаем, что все эти достижения не могут ни облегчить сколько-нибудь существенно те трудности, которые выпадают на долю человека, ни облагородить его поступки. Ставшая привычной причинная интерпретация всех явлений, в том числе и явлений, относящихся к психической и социальной сферам, лишила осторожно мыслящих интеллигентов чувства уверенности и тех утешений, которые прежние поколения могли найти в традиционной религии, подкрепляемой властью. Нынешнее положение в какой-то мере сходно с изгнанием из наивного детского рая.

Таковы в кратких словах бедствия, испытываемые мыслящим человеком нашего времени. Часто он ищет спасения от своего несчастья, пускаясь в причудливый, но поверхностный скептицизм или хватаясь за любое средство, способное отвлечь его от внешних раздражителей. Подобные усилия тщетны, ибо нельзя долгое время питаться наркотиками вместо обычной полезной пищи.

В общем же мы очень мало знаем о том, как люди борются с подобной ситуацией, если только мы не психиатры; но и они, как правило, имеют дело лишь с теми, у кого просто нет сил для самостоятельного разрешения духовного конфликта. За исключением этих случаев мы очень мало знаем о том, как наши современники решают проблему отношения индивидуума к заданным условиям как человеческого, так и внечеловеческого харак-

* *Foreword: Rudolf Kayser. Spinoza. Portrait of a spiritual Hero. Philos. Library. New York, 1946, IX—XI.*

тера и достигают внутреннего покоя и уверенности, без которых невозможно ни гармоничное существование, ни работа. Кроме того, лишь немногие индивидуумы обладают столь ясным мышлением, что могут поделиться в понятной для окружающих форме своим субъективным опытом.

В силу сказанного для людей нашего времени особую важность приобретает знакомство с жизнью и борьбой выдающихся личностей, которые столкнулись с теми же духовными трудностями и преодолели их и чья биография и труды могут помочь нам понять существо их героических свершений.

Среди таких личностей одно из выдающихся мест занимает Барух Спиноза. Именно поэтому мы испытываем такое удовлетворение, знакомясь с жизнью и борьбой этого человека по предлагаемой вниманию читателя книге. Автор не смотрит на Спинозу критическим взглядом философа. Подход автора — это подход сочувствующего историка, интуитивно постигшего причины действий этой чистой и одинокой души. Разумеется, чтение книги Кайзера не может заменить подробного изучения собственных трудов Спинозы, но зато делает более близкой нам личность Спинозы и тем самым облегчает понимание его идей.

Хотя Спиноза жил триста лет тому назад, духовная обстановка, в условиях которой ему приходилось бороться, очень близко напоминает нашу. Спиноза был полностью убежден в причинной зависимости всех явлений еще в то время, когда попытки достичь понимания причинных связей между явлениями природы имели весьма скромный успех. Убежденность Спинозы в причинной зависимости всех явлений относилась не только к неодушевленной природе, но и к человеческим чувствам и поступкам. У него не было никаких сомнений относительно того, что наша свободная (т. е. неподчиняющаяся причинности) воля является иллюзией, обусловленной тем, что мы не принимаем во внимание причины, действующие внутри нас. В изучении этой причинной связи он видел средство излечения от страха, ненависти и горечи, единственное средство, к которому может обратиться мыслящий человек. Обоснованность своих убеждений он доказал не только с помощью ясного и точного изложения своих рассуждений, но и примером всей своей жизни.

ПОЛЬ ЛАНЖЕВЕН *

Известие о смерти Поля Ланжевена причинило мне более сильную боль, чем многие события этих горестных и полных разочарований лет.

Почему так? Разве он не наслаждался долгой жизнью, заполненной плодотворной творческой работой, жизнью человека, гармонирующей с ним самим? Не был ли он широко почитаем за его проницательное знание интеллектуальных проблем, повсеместно любим за преданность всему хорошему и умную доброжелательность ко всему сущему? Не чувствовал ли он определенное удовлетворение от того, что жизни индивидуума поставлены естественные пределы, так что в конце она представляется произведением искусства? Боль, которую мне причинила смерть Поля Ланжевена, была для меня особенно острой, потому что во мне возникло чувство одиночества и опустошенности.

В одном поколении так мало людей, которые обладали бы одновременно ясным пониманием природы вещей, глубоким чувством истинных человеческих потребностей и способностью к активным действиям! Когда такой человек уходит из жизни, он оставляет пустоту, которая кажется невыносимой тем, кто его переживает.

Ланжевен обладал ясным и проницательным умом, в котором соединялись быстрота и уверенное интуитивное видение существенных начал. Результатом этих качеств было то обстоятельство, что его лекции оказали решающее влияние на несколько поколений французских физиков-теоретиков. Но он знал и значительную часть экспериментальной техники; его критика и конструктивные предложения всегда оказывали плодотворное действие. Его собственные исследования решали образом повлиять на развитие науки, в основном магнетизма и ионной теории.

И все-таки, бремя обязанностей, которые он всегда был готов принять на себя, ограничивало его личные исследования, так что плоды его трудов

* *Paul Langevin*. *La Pensee: revue du rationalisme moderne*, 1947, No 12 (May — June), 13—14.

появлялись в публикациях других ученых больше, чем в его собственных.

Я уверен, что он бы развил специальную теорию относительности, если бы это не было сделано в другом месте, ибо он ясно заметил ее существенные черты. Замечательно и то, что он вполне оценил значение идей де Бройля, из которых Шредингер позже развил методы волновой механики, даже раньше, чем эти идеи консолидировались в прочную теорию. Я живо припоминаю, с каким удовольствием и теплотой он мне говорил о них; вспоминаю также, что следил за его высказываниями с неуверенностью и сомнением.

В течение всей своей жизни Ланжевен страдал от того, что видел недостатки и несправедливости наших социальных и экономических институтов. Он все-таки твердо верил в силу разума и науки. Сердце его было настолько чисто, что он был убежден в готовности всех людей отказаться полностью от личного, как только они познали свет разума и справедливости. Разум был его верой — верой, которая должна была дать не только свет, но и спасение. Его желание помочь всем людям в том, чтобы они воспользовались более счастливой жизнью, было, возможно, сильнее, чем желание чисто умственного познания. Случалось, что он жертвовал много времени и энергии для выяснения политических вопросов. Никто из тех, кто обращался к его общественному сознанию, не уходил от него с пустыми руками. Истинное моральное величие его личности было причиной, вызывавшей ярую ненависть многих интеллигентов, чаще всего ограниченных. Но зато он понимал всех и в своей доброте не питал никакой неприязни к кому бы то ни было.

Я считаю большой удачей для себя то, что знал такого, высокообразованного и духовно чистого человека.

Русский перевод включен в сб. «Физика и реальность»; английский перевод напечатан в «Out of My later Years».

ПАМЯТИ МАКСА ПЛАНКА *

Человек, которому было суждено одарить мир великой созидательной идеей, не нуждается в похвале потомства. Его творчество даровало ему более значительное благо.

Вместе с тем хорошо — и это было необходимо, — что представители тех, кто борется за истину и знания, собрались сегодня здесь со всех четырех сторон света. Они присутствуют здесь, чтобы доказать, что даже в такие времена, как наши, когда политические страсти и грубая сила нависают, как меч, над головами людей, полных тревоги и страха, знамя идеала нашего поиска истины держится высоко и в чистоте. Этот идеал — вечная связь, объединяющая ученых всех времен и народов, — на редкость совершенно отражен в личности Макса Планка.

Уже греки поняли атомистическую природу материи, и эта концепция была возведена до высокой степени вероятности учеными XIX столетия. Но именно закон излучения Планка дал первое точное определение абсолютных величин атомов, независимо от других предложений. Больше того, он убедительно показал, что, кроме атомистической структуры материи, существует своего рода атомистическая структура энергии, управляемая универсальной постоянной h , введенной Планком.

Это открытие стало основой всех исследований в физике XX века и с тех пор почти полностью обусловило ее развитие. Без этого открытия было бы невозможно установить действенную теорию молекул и атомов и энергетических процессов, управляющих их превращениями. Больше того, оно разрушило остов классической механики и электродинамики и поставило перед наукой задачу: найти новую познавательную основу для всей физики. Несмотря на значительные частные достижения, проблема еще далека от удовлетворительного решения.

Отдавая дань уважения великому человеку, Американская национальная академия наук выражает надежду, что исследования ради чистого познания не будут прекращены и сохранят всю свою силу.

* *Max Planck in Memoriam* (April 1948). В сб.: «Out of My later Years». New York, 1950, 229—230. (Русский перевод опубликован в сб.: «Физика и реальность». — *Ред.*.)

ПРЕДИСЛОВИЕ К КНИГЕ Л. БАРНЕТТА „ВСЕЛЕННАЯ И Д-Р ЭЙНШТЕЙН“*

Всякий, кому хоть раз приходилось популярно излагать какую-нибудь абстрактную научную тему, знает, как это трудно. Изложение можно сделать понятным, обойдя существо проблемы и предлагая вниманию читателя лишь ее поверхностные аспекты или смутные намеки. При этом читатель будет введен в заблуждение, ибо у него создается обманчивое впечатление, что он все понял. Можно поступить иначе и написать с полным знанием дела обзор проблемы, но так, что изложение будет недоступно неподготовленному читателю и надолго отпугнет его от чтения другой литературы.

Если из современной научно-популярной литературы выбросить работы, относящиеся к этим двум категориям, то от нее останется удивительно мало. Но то, что останется, будет по-настоящему ценно. Особенно важно, что самые широкие круги общественности получают возможность ясно и отчетливо познать движущие силы и результаты научного исследования. Ведь совершенно недостаточно, чтобы каждый результат воспринимался, разрабатывался и применялся узким кругом специалистов в некоторой конкретной области. Сужение круга людей, которым доступно знание, до небольшой группы посвященных означало бы умерщвление философского духа народа и наступление духовной нищеты.

Книга Линкольна Барнетта представляет собой ценный вклад в научно-популярную литературу. Основные идеи теории относительности изложены в ней чрезвычайно хорошо. Кроме того, в ней приводится удачная характеристика современного состояния наших знаний в области физики. Автор показывает, как накопление фактов вместе со стремлением к единой теоретической концепции, охватывающей все эмпирические данные, привело к современной ситуации, для которой, несмотря на все достигнутые успехи, характерна неопределенность в выборе основных теоретических понятий.

Принстон, 10 сентября 1948 г.

* *Foreword*. В кн.: L. B a r n e t t. The Universe and Dr. Einstein. New York, 1949, 1—2.

АВТОБИОГРАФИЧЕСКИЕ ЗАМЕТКИ *

Вот я здесь сижу и пишу на 68-м году жизни что-то вроде собственного некролога. Делаю я это не только потому, что меня уговорили; я и сам думаю, что показать своим ищущим братьям, какими представляются, в исторической перспективе, собственные стремления и искания, — дело хорошее. После некоторого размышления я, однако, почувствовал, как неполна и несовершенна должна оказаться такая попытка. Ведь как бы ни была коротка и ограничена трудовая жизнь, как бы ни преобладали в ней ошибки и блуждания, все же отобразить и изложить то, что этого заслуживает, — задача нелегкая. Когда человеку 67 лет, то он не тот, каким был в 50, 30 и 20 лет. Всякое воспоминание подкрашено тем, что представляет человек сейчас, а нынешняя точка зрения может ввести в заблуждение. Это соображение могло бы отпугнуть. Но, с другой стороны, из собственных переживаний можно почерпнуть многое такое, что недоступно сознанию другого.

Еще будучи довольно скороспелым молодым человеком, я живо осознал ничтожество тех надежд и стремлений, которые гонят сквозь жизнь большинство людей, не давая им отдыха. Скоро я увидел и жестокость этой гонки, которая, впрочем, в то время прикрывалась тщательнее, чем теперь, лицемерием и красивыми словами. Каждый был вынужден участвовать в этой гонке ради своего желудка. Участие это могло удовлетворить желудок, но никак не всего человека как мыслящего и чувствующего существа. Выход отсюда указывался прежде всего религией, которая насаждается всем детям традиционной машиной воспитания. Таким путем я, хотя и был сыном совсем нерелигиозных (еврейских) родителей, пришел к глубокой религиозности, которая, однако, уже в возрасте 12 лет резко оборвалась. Чтение научно-популярных книжек привело меня вскоре к убеждению, что в библейских рассказах многое не может быть верным. Следствием этого было прямо-таки фанатическое свободомыслие, соеди-

* *Autobiographisches (Autobiographical Notes)*. В кн.: «Albert Einstein — Philosopher-Scientist», ed. by P. A. Schilpp, Evanston (Illinois), 1945, 1—95 (на немецком и английском языках).

ненное с выводами, что молодежь умышленно обманывается государством; это был потрясающий вывод. Такие переживания породили недоверие ко всякого рода авторитетам и скептическое отношение к верованиям и убеждениям, жившим в окружавшей меня тогда социальной среде. Этот скептицизм никогда меня уже не оставлял, хотя и потерял свою остроту впоследствии, когда я лучше разобрался в причинной связи явлений.

Для меня ясно, что утраченный таким образом религиозный рай молодости представлял первую попытку освободиться от пут «только личного», от существования, в котором господствовали желания, надежды и примитивные чувства.

Там, во вне, существовал большой мир, существующий независимо от нас, людей, и стоящий перед нами как огромная вечная загадка, доступная, однако, по крайней мере отчасти, нашему восприятию и нашему разуму. Изучение этого мира манило как освобождение, и я скоро убедился, что многие из тех, кого я научился ценить и уважать, нашли свою внутреннюю свободу и уверенность, отдавшись целиком этому занятию. Мысленный охват, в рамках доступных нам возможностей, этого внеличного мира представлялся мне наполовину сознательно, наполовину бессознательно как высшая цель. Те, кто так думал, будь то мои современники или люди прошлого, вместе с выработанными ими взглядами, были моими единственными и неизменными друзьями. Дорога к этому раю была не так удобна и завлекательна, как дорога к религиозному раю, но она оказалась надежной, и я никогда не жалел, что по ней пошел.

То, что я сейчас сказал, верно только в известном смысле, подобно тому как рисунок, состоящий из немногих штрихов, только в ограниченном смысле может передать сложный предмет, с его запутанными мелкими подробностями. Если данная личность особенно ценит остро отточенную мысль, то эта сторона ее существа может выделяться ярче других ее сторон и в большей степени определять ее духовный мир. Может тогда случиться, что в ретроспективном взгляде эта личность усмотрит систематическое саморазвитие там, где фактические переживания чередовались в калейдоскопическом беспорядке. В самом деле, многообразие внешних обстоятельств, в соединении с тем, что в каждый данный момент думаешь только об одном, вводит в сознательную жизнь каждого человека своего рода атомную структуру. В развитии человека моего склада поворотная точка достигается тогда, когда главный интерес жизни понемногу отрывается от мгновенного и личного и все больше и больше концентрируется в стремлении мысленно охватить природу вещей. С этой точки зрения приведенные выше схематические заметки содержат верного столько, сколько вообще может быть сказано в таких немногих словах.

Что значит, в сущности, «думать»? Когда при восприятии ощущений, идущих от органов чувств, в воображении всплывают картины-воспомина-

ния, то это еще не значит «думать». Когда эти картины становятся в ряд, каждый член которого пробуждает следующий, то и это еще не есть мышление. Но когда определенная картина встречается во многих таких рядах, то она, в силу своего повторения, начинает служить упорядочивающим элементом для таких рядов, благодаря тому, что она связывает ряды, сами по себе лишенные связи. Такой элемент становится орудием, становится понятием. Мне кажется, что переход от свободных ассоциаций или «мечтаний» к мышлению характеризуется той, более или менее доминирующей, ролью, какую играет при этом «понятие». Само по себе не представляется необходимым, чтобы понятие соединялось с символом, действующим на органы чувств и воспроизводимым (со словом); но если это имеет место, то мысль может быть сообщена другому лицу.

По какому же праву, спросит теперь читатель, оперирует этот человек так бесцеремонно и кустарно с идеями в такой проблематической области, не делая притом ни малейшей попытки что-либо доказать? Мое оправдание: всякое наше мышление — того же рода; оно представляет собой свободную игру с понятиями. Обоснование этой игры заключается в достижимой при помощи нее возможности обозреть чувственные восприятия. Понятие «истины» к такому образованию еще совсем неприменимо; это понятие может, по моему мнению, быть введено только тогда, когда имеется налицо условное соглашение относительно элементов и правил игры.

Для меня не подлежит сомнению, что наше мышление протекает в основном, минуя символы (слова), и к тому же бессознательно. Если бы это было иначе, то почему нам случается иногда «удивляться», притом совершенно спонтанно, тому или иному восприятию? Этот «акт удивления», по-видимому, наступает тогда, когда восприятие вступает в конфликт с достаточно установившимся в нас миром понятий. В тех случаях, когда такой конфликт переживается остро и интенсивно, он в свою очередь оказывает сильное влияние на наш умственный мир. Развитие этого умственного мира представляет собой в известном смысле преодоление чувства удивления — непрерывное бегство от «удивительного», от «чуда»¹.

Чудо такого рода я испытал ребенком 4 или 5 лет, когда мой отец показал мне компас. То, что эта стрелка вела себя так определенно, никак не подходило к тому роду явлений, которые могли найти себе место в моем неосознанном мире понятий (действие через прикосновение). Я помню еще и сейчас — или мне кажется, что я помню, — что этот случай произвел на меня глубокое и длительное впечатление. За вещами должно быть что-то еще, глубоко скрытое. Человек так не реагирует на то, что он видит с

¹ Слова «чудо» и «удивление» имеют в немецком языке один и тот же корень «Wunder». — *Прим. перев.*

малых лет. Ему не кажется удивительным падение тел, ветер и дождь, он не удивляется на луну и на то, что она не падает, не удивляется различию между живым и неживым.

В возрасте 12 лет я пережил еще одно чудо совсем другого рода: источником его была книжечка по эвклидовой геометрии на плоскости, которая попала мне в руки в начале учебного года. Там были утверждения, например, о пересечении трех высот треугольника в одной точке, которые хотя и не были сами по себе очевидны, но могли быть доказаны с уверенностью, исключавшей как будто всякие сомнения. Эта ясность и уверенность произвели на меня неописуемое впечатление. Меня не беспокоило то, что аксиомы должны быть приняты без доказательства. Вообще мне было вполне достаточно, если я мог в своих доказательствах опираться на такие положения, справедливость которых представлялась мне бесспорной. Я помню, например, что теорема Пифагора была мне показана моим дядей еще до того, как в мои руки попала священная книжечка по геометрии. С большим трудом мне удалось «доказать» эту теорему при помощи подобных треугольников; при этом мне казалось, однако, «очевидным», что отношение сторон прямоугольного треугольника должно полностью определяться одним из его острых углов. Вообще мне казалось, что доказывать нужно только то, что не «очевидно» в этом смысле. И предметы, с которыми имеет дело геометрия, не казались мне другой природы, чем «видимые и осязаемые» предметы, т. е. предметы, воспринимаемые органами чувств. Это примитивное понимание основано, конечно, на том, что бессознательно учитывалась связь между геометрическими понятиями и наблюдаемыми предметами (длина — твердый стержень и т. п.). Возможно, что это понимание лежит в основе известной кантовской постановки вопроса относительно возможности «синтетического суждения априори».

Хотя это выглядело так, будто путем чистого размышления можно получить достоверные сведения о наблюдаемых предметах, но такое «чудо» было основано на ошибке. Все же тому, кто испытывает это «чудо» в первый раз, кажется удивительным самый факт, что человек способен достигнуть такой степени надежности и чистоты в отвлеченном мышлении, какую нам впервые показали греки в геометрии.

Раз я позволил себе прервать начатый с грехом пополам некролог, я уже не буду стесняться выразить здесь в нескольких фразах свое гносеологическое кредо, хотя кое-что из этого было уже попутно сказано ранее. Эти мои убеждения складывались медленно и сложились много позднее; они не соответствуют тем установкам, которые у меня были, когда я был моложе.

Я вижу, с одной стороны, совокупность ощущений, идущих от органов чувств; с другой стороны, совокупность понятий и предложений, записанных в книгах. Связи понятий и предложений между собою — логичес-

кого характера; задача логического мышления сводится исключительно к установлению соотношений между понятиями и предложениями по твердым правилам, которыми занимается логика. Понятия и предложения получают смысл, или «содержание», только благодаря их связи с ощущениями. Связь последних с первыми — чисто интуитивная и сама по себе нелогической природы. Научная «истина» отличается от пустого фантазирования только степенью надежности, с которой можно провести эту связь или интуитивное сопоставление, и ничем иным. Система понятий есть творение человека, как и правила синтаксиса, определяющие ее структуру. Хотя системы понятий сами по себе логически совершенно произвольны, но их связывает то, что они, во-первых, должны допускать возможно надежное (интуитивное) и полное сопоставление с совокупностью ощущений; во-вторых, они должны стремиться обойтись наименьшим числом логически независимых элементов (основных понятий и аксиом), т. е. таких понятий, для которых не дается определений, и таких предложений, для которых не дается доказательств.

Предложение верно, если оно выведено внутри некоторой логической системы по принятым правилам. Содержание истины в системе определяется надежностью и полнотой ее соответствия с совокупностью ощущений. Вернее, предложение заимствует свою «истинность» из запаса истины, содержащегося в системе, его заключающей.

Замечание к историческому развитию. Юм ясно понял, что некоторые понятия, например понятие причинности, не могут быть выведены из опытных данных логическим путем. Кант, убежденный в том, что без некоторых понятий обойтись нельзя, считал эти понятия в их принятой форме необходимыми предпосылками всякого мышления и отличал их от понятий эмпирического происхождения. Я же уверен, что это разграничение ошибочно и не охватывает естественным образом задачу. Все понятия, даже и ближайшие к ощущениям и переживаниям, являются с логической точки зрения произвольными положениями, точно так же, как и понятие причинности, о котором в первую очередь шла речь.

Возвращаюсь теперь к некрологу. В возрасте 12—16 лет я ознакомился с элементами математики, включая основы дифференциального и интегрального исчисления. При этом, на мое счастье, мне попались книги, в которых обращалось не слишком много внимания на логическую строгость, зато хорошо была выделена везде главная мысль. Все это занятие было поистине увлекательно; в нем были взлеты, по силе впечатления не уступавшие «чуду» элементарной геометрии, — основная идея аналитической геометрии, бесконечные ряды, понятие дифференциала и интеграла. Мне посчастливилось также получить понятие о главнейших результатах и методах естественных наук по очень хорошему популярному изданию, в котором изложение почти везде ограничивалось качественной стороной

вопроса (бернштейновские естественнонаучные книги для народа — труд в 5—6 томов); книги эти я читал, не переводя дыхания. К тому времени, когда я в возрасте 17 лет поступил в Цюрихский политехникум в качестве студента по физике и математике, я уже был немного знаком и с теоретической физикой.

Там у меня были прекрасные преподаватели (например, Гурвиц, Минковский), так что, собственно говоря, я мог бы получить солидное математическое образование. Я же большую часть времени работал в физической лаборатории, увлеченный непосредственным соприкосновением с опытом. Остальное время я использовал главным образом для того, чтобы дома изучать труды Кирхгофа, Гельмгольца, Герца и т. д. Причиной того, что я до некоторой степени пренебрегал математикой, было не только преобладание естественнонаучных интересов над интересами математическими, но и следующее своеобразное чувство. Я видел, что математика делится на множество специальных областей и каждая из них может занять всю отпущенную нам короткую жизнь. И я увидел себя в положении буриданова осла, который не может решить, какую же ему взять охапку сена. Дело было, очевидно, в том, что моя интуиция в области математики была недостаточно сильна, чтобы уверенно отличить основное и важное от остатальной учености, без которой еще можно обойтись. Кроме того, и интерес к исследованию природы, несомненно, был сильнее; мне как студенту не было еще ясно, что доступ к более глубоким принципиальным проблемам в физике требует тончайших математических методов. Это стало мне выясняться лишь постепенно, после многих лет самостоятельной научной работы. Конечно, и физика была разделена на специальные области, и каждая из них могла поглотить короткую трудовую жизнь, так и не удовлетворив жажды более глубокого познания. Огромное количество недостаточно увязанных эмпирически фактов действовало и здесь подавляюще. Но здесь я скоро научился выскивать то, что может повести в глубину, и отбрасывать все остальное, все то, что перегружает ум и отвлекает от существенного. Тут была, однако, та загвоздка, что для экзамена нужно было напихивать в себя — хочешь не хочешь — всю эту премудрость. Такое принуждение настолько меня запугивало, что целый год после сдачи окончательного экзамена всякое размышление о научных проблемах было для меня отравлено. При этом я должен сказать, что мы в Швейцарии страдали от того принуждения, удушающего настоящую научную работу, значительно меньше, чем страдают студенты во многих других местах. Было всего два экзамена; в остальном можно было делать более или менее то, что хочешь. Особенно хорошо было тому, у кого, как у меня, был друг, аккуратно посещавший все лекции и добросовестно обрабатывавший их содержание. Это давало свободу в выборе занятия вплоть до нескольких месяцев перед экзаменом, свободу, которой я широко пользовался; связанную же

с ней нечистую совесть я принимал как неизбежное, притом значительно меньшее, зло. В сущности, почти чудо, что современные методы обучения еще не совсем удушили святую любознательность, ибо это нежное растение требует наряду с поощрением прежде всего свободы — без нее оно неизбежно погибает. Большая ошибка думать, что чувство долга и принуждение могут способствовать находить радость в том, чтобы смотреть и искать. Мне кажется, что даже здоровое хищное животное потеряло бы жадность к еде, если бы удалось с помощью бича заставить его непрерывно есть, даже когда оно голодно, и особенно если принудительно предлагаемая еда не им выбрана.

Обратимся теперь к физике, какой она представлялась в то время. Несмотря на то, что в отдельных областях она процветала, в принципиальных вещах господствовал догматический застой. В начале (если таковое было) бог создал ньютоновы законы движения вместе с необходимыми массами и силами. Этим все и исчерпывается; остальное должно получиться дедуктивным путем, в результате разработки надлежащих математических методов. Опираясь на эту основу и в особенности применяя уравнения в частных производных, XIX столетие дало так много, что это должно вызывать удивление всякого мыслящего человека. Ньютон, вероятно, первый продемонстрировал в своей теории распространения звука плодотворность метода дифференциальных уравнений в частных производных. Эйлер создал уже основы гидродинамики. Но более детальное построение механики дискретных масс как основы всей физики было достижением XIX в. На студента наибольшее впечатление производило не столько построение самого аппарата механики и решение сложных задач, сколько достижения механики в областях, на первый взгляд совсем с ней не связанных: механическая теория света, которая рассматривала свет как волновое движение квазитвердого упругого эфира, и прежде всего кинетическая теория газов. Здесь следует упомянуть независимость теплоемкости одноатомных газов от атомного веса, вывод уравнения состояния газа и его связь с теплоемкостью, а главное — численную зависимость между вязкостью, теплопроводностью и диффузией газов, которая давала и абсолютные размеры атома. Эти результаты служили одновременно подтверждением механики как основы физики и подтверждением атомной гипотезы, которая тогда уже твердо укрепилась в химии. Однако в химии играла роль только отношения атомных масс, а не их абсолютные величины, поэтому там атомную теорию можно было рассматривать скорее как наглядную аналогию, а не как познание действительного строения материи. Независимо от этого, глубочайший интерес вызывало и то, что статистическая теория классической механики была в состоянии вывести основные законы термодинамики; по существу, это было сделано уже Больцманом.

Нельзя поэтому удивляться, что физики прошлого века видели в классической механике незыблемое основание для всей физики и даже для всего естествознания; они неустанно пытались обосновать на механике и максвелловскую теорию электромагнетизма, медленно пробивавшую себе дорогу. Максвелл и Герц в своем сознательном мышлении также считали механику надежной основой физики, хотя в исторической перспективе следует признать, что именно они и подорвали доверие к механике как основе основ всего физического мышления. Эрнст Мах в своей истории механики потряс эту догматическую веру; на меня — студента — эта книга оказала глубокое влияние именно в этом отношении. Я вижу действительное величие Маха в его неподкупном скепсисе и независимости; в мои молодые годы на меня произвела сильное впечатление также и гносеологическая установка Маха, которая сегодня представляется мне в существенных пунктах несостоятельной. А именно: он недостаточно подчеркнул конструктивный и спекулятивный характер всякого мышления, в особенности научного мышления. Вследствие этого он осудил теорию как раз в тех ее местах, где конструктивно-спекулятивный характер ее выступает неприкрыто, например в кинетической теории.

Прежде чем приняться за критику механики как основы физики, нужно сначала высказать несколько общих положений о точках зрения, или критериях, с которых вообще можно критиковать физические теории. Первый критерий очевиден: теория не должна противоречить данным опыта. Но насколько очевидным кажется это требование само по себе, 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). Относительно «области применимости» теорий мне можно здесь не

говорить ничего, поскольку мы рассматриваем только такие теории, предметом которых является вся совокупность физических явлений.

Второй критерий можно кратко характеризовать как критерий «внутреннего совершенства» теории, тогда как первый относится к ее «внешнему оправданию». К «внутреннему совершенству» теории я причисляю также и следующее: теория представляется нам более ценной тогда, когда она не является логически произвольным образом выбранной среди приблизительно равноценных и аналогично построенных теорий.

Недостаточную определенность моих утверждений в двух последних абзацах я не буду оправдывать недостатком отведенного мне в печати места; я прямо признаю, что так сразу я не могу, а может быть, и вообще не в состоянии, заменить эти намеки точными определениями. Однако я считаю, что более точная формулировка возможна. Во всяком случае, мы видим, что между «авгурами» большею частью наблюдается полное согласие в суждении о «внутреннем совершенстве» теорий и в особенности о степени их «внешнего оправдания».

Переходим теперь к критике механики как основы физики.

С точки зрения первого критерия (проверка на опыте) включение волновой оптики в механическую картину мира должно было вызывать серьезные сомнения. Если считать, что свет должен рассматриваться как волновое движение в упругом теле (в эфире), то это тело должно быть всепроникающей средой. В силу поперечности световых волн среда эта должна быть в основном подобна твердому телу, однако она должна быть несжимаемой, чтобы продольные волны не существовали. Этот эфир должен был вести рядом с обычной материей призрачное существование, поскольку он как будто не оказывал никакого сопротивления движению «весомых» тел. Чтобы объяснить показатели преломления прозрачных тел, а также процессы испускания и поглощения света, пришлось бы принять путаные взаимодействия между двумя родами материи; это не только не было исполнено, но даже никто этого серьезно и не пробовал.

Далее, электромагнитные силы заставили ввести электрические массы, которые, хотя и не обладали заметной инертностью, оказывали друг на друга воздействие; в отличие от силы тяготения это взаимодействие имело полярный характер.

Причиной, в конце концов побудившей физиков отказаться после долгих колебаний от веры в возможность построить всю физику на основе ньютоновой механики, — была электродинамика Фарадея — Максвелла. Эта теория, вместе с опытами Герца, ее подтвердившими, показала, что существуют электромагнитные процессы, по существу своему оторванные от всякой весомой материи, а именно волны, представляющие собой колебания электромагнитных «полей» в пустом пространстве. Кто хотел сохранить механику как основу физики, тот должен был дать механическое

толкование уравнениям Максвелла. Над этим и стали трудиться усерднейшим образом, но совершенно бесплодно, тогда как самые уравнения во все большей степени выявляли свою плодотворность. Люди привыкли оперировать с этими полями как с самостоятельными реальностями, не вдаваясь в их механическую природу. Так, почти незаметно, взгляд на механику как на основу физики был оставлен; это произошло потому, что приспособление механики к опытным фактам оказалось безнадежным. С тех пор существуют две системы элементарных понятий: с одной стороны, взаимодействующие на расстоянии материальные точки, а с другой — непрерывное поле. Это состояние физики, в котором отсутствует единая ее основа, является как бы переходным; при всей его неудовлетворительности оно далеко еще не преодолено...

Теперь о критике механики как основы физики с точки зрения второго, «внутреннего», критерия. При современном состоянии науки, когда механический фундамент уже оставлен, такого рода критика может иметь лишь методический интерес. Однако она весьма пригодна в качестве примера такой аргументации, которая в будущем должна при выборе между теориями играть тем большую роль, чем дальше отстоят их основные понятия и аксиомы от непосредственно наблюдаемого; при таких обстоятельствах сопоставление выводов теории с опытом становится все сложнее и затруднительнее. Здесь следует в первую очередь упомянуть одно соображение Маха, которое, впрочем, было совершенно ясно уже и Ньютону (опыт с ведром). С точки зрения чисто геометрического описания, все «жесткие» системы отсчета являются в логическом отношении равноправными. Однако уравнения механики (и уже первый закон Ньютона) справедливы лишь в некоторых из этих систем отсчета, а именно в «инерциальных» системах, составляющих особый класс. При этом характер системы отсчета, как материального тела, оказывается несущественным. Необходимость брать именно инерциальную систему отсчета должна быть поэтому обусловлена чем-то лежащим вне тех предметов (масс, расстояний), о которых идет речь в теории. В качестве такого определяющего обстоятельства Ньютон ввел «абсолютное пространство» как некоего вездесущего активного участника всех механических процессов. Под «абсолютным» Ньютон, очевидно, разумеет «не подверженное влиянию масс и их движений». Положение усугубляется тем, что предполагается существование бесконечного множества инерционных систем, движущихся друг относительно друга равномерно и без вращения, причем эти системы отсчета предполагаются выделенными среди всех остальных жестких систем отсчета.

По мнению Маха, в действительно рациональной теории инертность должна, подобно другим ньютоновским силам, происходить от взаимодействия масс. Это мнение я долгое время считал в принципе правильным.

Оно неявным образом предполагает, однако, что теория, на которой все основано, должна принадлежать тому же общему типу, как и ньютонова механика: основными понятиями в ней должны служить массы и взаимодействия между ними. Между тем нетрудно видеть, что такая попытка решения не вяжется с духом теории поля.

Тем не менее маховская критика сама по себе вполне обоснована. Это особенно ясно видно из следующей аналогии. Представим себе людей, строящих механику; пусть при этом они знают только небольшую часть земной поверхности и не имеют возможности видеть звезды. Они будут склонны приписывать вертикальному измерению пространства (направление ускорения при падении) особые физические свойства. На этом основании они придут к заключению, что поверхность земли преимущественно горизонтальна. Положим, что они не поддаются соображению, что пространство в геометрическом отношении изотропно и что поэтому нельзя строить основные физические законы так, чтобы из них следовало наличие привилегированного направления; эти люди, вероятно, будут склонны утверждать (подобно Ньютону), что вертикаль абсолютна, что это показывает опыт и с этим приходится считаться. Выделение вертикалей перед всеми другими направлениями совершенно аналогично выделению инерциальных систем перед другими жесткими координатными системами.

Приведем теперь дальнейшие аргументы, которые тоже относятся к вопросу о внутренней простоте и естественности механики. Если принять без критических сомнений понятия пространства (включая геометрию) и времени, то еще нет оснований возражать против введения сил дальнего действия в качестве исходных понятий, хотя понятие дальнего действия и не согласуется с теми идеями, которые люди себе вырабатывают на основании грубого повседневного опыта. Зато имеется другое соображение, благодаря которому понимание механики как основы физики представляется нам примитивным.

В основном имеются два закона.

1) Закон движения.

2) Выражение для силы (или для потенциальной энергии).

Закон движения точен, но он бессодержателен, пока не дано выражение для силы. Написание этого выражения связано, однако, с широким произволом, особенно если отбросить неочевидное само по себе требование, чтобы силы зависели только от самих координат (a , например, не от их производных по времени).

В рамках такой теории произвольным является и то, что действие сил тяготения (и электрических сил), выходящих из одной точки, определяется потенциальной функцией ($1/r$). Дополнительное замечание: уже давно известно, что эта функция является центрально-симметрическим решением простейшего (инвариантного по отношению к вращениям) дифференциаль-

ного уравнения $\Delta\varphi = 0$; было бы естественным считать это признаком того, что эта функция должна определяться из некоторого пространственного закона, чем устранялся бы произвол в выборе закона для сил. Собственно говоря, это первый результат, который мог бы навести на мысль об отходе от теории дальнего действия. Однако развитие в этом направлении, начатое Фарадеем, Максвеллом и Герцем, наступило лишь позже, под давлением опытных фактов.

Мне бы хотелось также указать на внутреннюю несимметрию теории, проявляющуюся в том обстоятельстве, что входящая в закон движения инертная масса входит и в выражение для сил тяготения, но не в выражения для других сил. Наконец, я бы хотел указать на то, что разделение энергии на две существенно различные части — кинетическую и потенциальную энергию — должно восприниматься как нечто неестественное; Герц считал это таким неудобством, что в своей последней работе даже попытался освободить механику от понятия потенциальной энергии (т. е. силы)...

Довольно об этом. Прости меня, Ньютон; ты нашел единственный путь, возможный в твоё время для человека величайшей научной творческой способности и силы мысли. Понятия, созданные тобой, и сейчас ещё остаются ведущими в нашем физическом мышлении, хотя мы теперь и знаем, что если мы будем стремиться к более глубокому пониманию взаимосвязей, то мы должны будем заменить эти понятия другими, стоящими дальше от сферы непосредственного опыта.

«И это некролог?» — может спросить удивленный читатель. По сути дела — да, хотелось бы мне ответить. Потому что главное в жизни человека моего склада заключается в том, *что* он думет и *как* он думает, а не в том, что он делает или испытывает. Значит, в некрологе можно в основном ограничиться сообщением тех мыслей, которые играли значительную роль в моих стремлениях. Теория производит тем большее впечатление, чем проще ее предпосылки, чем разнообразнее предметы, которые она связывает, и чем шире область ее применения. Отсюда глубокое впечатление, которое произвела на меня классическая термодинамика. Это единственная физическая теория общего содержания, относительно которой я убежден, что в рамках применимости ее основных понятий она никогда не будет опровергнута (к особому сведению принципиальных скептиков).

Самым увлекательным предметом во времена моего учения была теория Максвелла. Переход от сил дальнего действия к полям, как основным величинам, делал эту теорию революционной. То, что оптика нашла себе место в теории электромагнетизма, установившей связь между скоростью света и абсолютной электрической и магнитной системой мер, а также связавшей коэффициент преломления с диэлектрической постоянной и приведшей к качественному соотношению между коэффициентом отражения и металлической проводимостью тела, — все это было для меня как открытие...

Помимо перехода к теории поля, т. е. к выражению элементарных законов при помощи дифференциальных уравнений, Максвеллу понадобился всего один гипотетический шаг — введение электрического тока смещения в пустоте и в диэлектриках с его магнитным действием; это нововведение было почти что продиктовано свойствами самих дифференциальных уравнений. В этой связи я не могу удержаться, чтобы не отметить удивительное внутреннее сходство между сочетанием Фарадей — Максвелл и сочетанием Галилей — Ньютон. Первый в каждой паре интуитивно схватывал соотношения, а второй их точно формулировал и применял количественно.

Проникновение в сущность электромагнитной теории затруднялось в те времена следующим своеобразным обстоятельством. Электрические и магнитные «силы поля» рассматривались наравне со «смещениями» как первичные величины, а пустое пространство считалось частным случаем диэлектрика.носителем поля считалась *материя* (вещество), а не *пространство*. А это подразумевало, что носитель поля обладает свойством иметь скорость, что, конечно, должно было быть справедливым и для «пустоты» (эфир). Электродинамика движущихся тел Герца всецело основана на этой принципиальной установке.

Большой заслугой Г. А. Лоренца было то, что он произвел здесь переворот, притом самым убедительным образом. Согласно Лоренцу, принципиально существует только поле в пустоте. Вещество, которое предполагается атомистичным, является единственным носителем зарядов; между материальными частицами находится пустое пространство — носитель электромагнитного поля, которое создается положением и скоростью точечных зарядов, сидящих на частицах. Диэлектрические свойства, проводимость и т. п., обусловлены исключительно характером механических связей между частицами, из которых состоят тела. Частицы-заряды создают поле, которое в свою очередь действует на заряды частиц. Соответствующие силы обуславливают движение частиц согласно законам Ньютона. Если сравнить это с системой Ньютона, то изменение заключается в следующем: силы дальнего действия заменяются полем, описывающим также и излучение. Тяготение большей частью в расчет не принимается вследствие его относительной малости; однако оно может быть учтено путем обогащения структуры поля и соответственного расширения максвелловских уравнений поля. Физик нынешнего поколения сочтет точку зрения Лоренца единственно возможной, а в то время это был поразительно смелый шаг, без которого дальнейшее развитие было бы невозможно.

Если посмотреть на эту фазу развития теории критически, то прежде всего бросается в глаза ее двойственность, состоящая в том, что материальная точка, в ньютоновом смысле, и поле как континуум употребляются рядом в качестве элементарных понятий. Кинетическая энергия и энергия поля представляются как принципиально разные вещи. Это кажется тем

более неудовлетворительным, что, согласно теории Максвелла, магнитное поле движущегося электрического заряда представляло инерцию. Почему же не всю инерцию? Тогда имелась бы только энергия поля, и частица была бы лишь областью особенно большой плотности этой энергии поля. Тогда можно было бы надеяться, что понятие материальной точки вместе с уравнениями движения частицы может быть выведено из уравнений поля — и мешающая двойственность была бы устранена.

Г. А. Лоренц это прекрасно понимал. Но уравнения Максвелла не позволяли установить условия равновесия электричества, составляющего одну частицу. Только другие нелинейные уравнения поля могли бы, может быть, это сделать. Однако еще не было метода, который бы позволил находить такие уравнения, не вдаваясь в самый авантюрный произвол. Во всяком случае, можно было надеяться найти новую, надежную основу для всей физики, продвигаясь шаг за шагом по пути, столь успешно намеченному Фарадеем и Максвеллом.

Таким образом, революцию, начатую введением поля, никак нельзя было считать оконченной. Случилось так, что на пороге двух веков независимо от этого переворота разразился еще один кризис основных понятий, важность которого внезапно дошла до сознания людей благодаря исследованиям Макса Планка о тепловом излучении (1900). История этого кризиса тем более замечательна, что на нее, по крайней мере в ее начальной стадии, не влияли никакие из ряда вон выходящие открытия экспериментального характера.

На основе термодинамических соображений Кирхгоф пришел к выводу, что плотность энергии и спектральный состав излучения, заключенного в полость с непрозрачными стенками температуры T , не зависит от природы этих стенок. Это означало, что плотность ρ монохроматического излучения есть универсальная функция частоты ν и абсолютной температуры T . Таким образом, возникала интересная задача определения этой функции $\rho(\nu, T)$. Что можно было получить теоретическим путем относительно этой функции? Согласно теории Максвелла, излучение должно оказывать на стенки давление, определяемое полной плотностью энергии. Отсюда Больцман вывел чисто термодинамическим путем, что общая плотность энергии излучения $(\int \rho d\nu)$ пропорциональна T^4 . Тем самым он нашел теоретическое обоснование для эмпирической закономерности, найденной уже ранее Стефаном, или, иначе говоря, он связал ее с основами теории Максвелла. После этого В. Вин при помощи остроумного термодинамического рассуждения, в котором также использовалась теория Максвелла, нашел, что универсальная функция ρ от двух переменных ν и T должна иметь вид

$$\rho \approx \nu^3 f\left(\frac{\nu}{T}\right),$$

где $f(v/T)$ означает универсальную функцию единственной переменной v/T . Было ясно, что теоретическое определение этой универсальной функции f имеет фундаментальное значение — это и была та задача, которая стояла перед Планком. Тщательные измерения привели к довольно точному эмпирическому определению функции f . Сначала Планку удалось, опираясь на эти эмпирические измерения, найти для этой функции представление, довольно хорошо их передававшее, а именно:

$$\rho = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} \frac{1}{\exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right) - 1},$$

где h и k — две универсальные постоянные; первая из них привела к теории квант. Эта формула выглядит благодаря своему знаменателю несколько странно. Допускает ли она теоретическое обоснование? Планк действительно нашел обоснование, несовершенства которого вначале были скрыты; это последнее обстоятельство было настоящим счастьем для развития физики. Если эта формула верна, то она позволяет с помощью теории Максвелла вычислить среднюю энергию E квазимонохроматического осциллятора, находящегося в поле излучения,

$$E = \frac{h\nu}{\exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right) - 1}.$$

Планк предпочел попробовать теоретически вычислить эту последнюю величину. В этой попытке термодинамика уже не помогала, точно так же, как не помогала и теория Максвелла. Но одно свойство этой формулы сильно обнадеживало. А именно: для высоких значений температуры (при постоянном ν) формула давала выражение

$$E = kT.$$

Это — то же самое выражение, какое дает кинетическая теория газов для средней энергии материальной точки, способной совершать упругие колебания в одном измерении. Кинетическая теория дает

$$E = \frac{R}{N} T,$$

где R — газовая постоянная, а N — число молекул в грамм-молекуле; эта постоянная связана с абсолютной величиной атома. Если приравнять оба выражения, то получим

$$N = \frac{R}{k}.$$

Значит, одна из постоянных формулы Планка в точности дает истинную величину атома. Численное значение удовлетворительно совпадало с определениями N , правда не очень точными, сделанными на основе кинетической теории газов.

Это было большим успехом, что ясно сознавал Планк. Однако тут имеется и оборотная сторона, довольно неприятная, которую, к счастью, Планк сразу не заметил. А именно: рассуждение требует, чтобы соотношение $E = kT$ было справедливо и для малых температур. Но тогда пропала бы и формула Планка и ее постоянная h . Правильный вывод из существующей теории был бы, следовательно, такой: или средняя кинетическая энергия осциллятора получается неверно из теории газов, что означало бы опровержение механики; или же средняя энергия осциллятора получается неверно из теории Максвелла, что означало бы опровержение этой последней. При этих обстоятельствах самым вероятным является то, что обе теории верны только в пределе, а в остальном неверны; так это и есть на самом деле, как мы увидим в дальнейшем. Если бы Планк пришел к этому выводу, то он, может быть, не сделал бы своего великого открытия, потому что в его рассуждениях исчезло бы самое основание.

Вернемся к рассуждению Планка. На основании кинетической теории газов Больцман нашел, что энтропия равна, с точностью до постоянного множителя, логарифму «вероятности» рассматриваемого состояния. Этим он выяснил сущность процессов, «необратимых» в смысле термодинамики. Напротив того, с молекулярно-механической точки зрения все процессы обратимы. Если назвать состояние, определенное в смысле молекулярной теории, состоянием микроскопическим или, короче, микросостоянием, а состояние, описанное термодинамически, — макросостоянием, то к каждому макроскопическому состоянию будет относиться великое множество (Z) микросостояний. Тогда Z является мерой вероятности данного макросостояния. Эта мысль представляется крайне важной еще и потому, что применимость ее не ограничивается микроскопическим описанием на основе механики. Это заметил Планк и применил принцип Больцмана к системе, состоящей из очень большого числа резонаторов с одинаковой частотой ν . Макроскопическое состояние задано полной энергией колебания всех резонаторов; макросостояние задано, если дана (для данного момента) энергия каждого отдельного резонатора. Для того чтобы число микросостояний, относящихся к одному макросостоянию, получилось конечным, Планк разделил полную энергию на большое, но конечное число одинаковых элементов энергии ϵ и задал вопрос: сколькими способами можно распределить между резонаторами эти элементы энергии? Логарифм этого числа дает тогда энтропию, а с нею (термодинамическим путем) и температуру системы. Планк получил свою формулу, взяв для элементов энергии ϵ величину $\epsilon = h\nu$. Решающим является здесь то обстоятельство, что ре-

зультат получается только, если брать для ε определенное конечное значение и, значит, не переходить к пределу $\varepsilon = 0$. Такая форма рассуждения заглушеывает то, что оно противоречит механической и электродинамической основе, на которую опирается вывод во всем остальном. В действительности, однако, в этом выводе неявно предполагается, что отдельные резонаторы могут поглощать и испускать энергию только «квантами» величины $h\nu$. Это означает, что энергия механической колебательной системы, так же как и энергия излучения, может передаваться только такими квантами — наперекор законам механики и электродинамики. Здесь противоречие с динамикой было фундаментальным, тогда как противоречие с электродинамикой могло быть и не таким глубоким. А именно, выражение для плотности энергии излучения является *совместным* с уравнениями Максвелла, но оно не является необходимым следствием этих уравнений. Что это выражение правильно дает важные средние значения, явствует хотя бы из того, что основанные на нем законы Стефана — Больцмана и Вина согласуются с опытом.

Все это стало мне ясно уже вскоре после появления основной работы Планка, так что я, хотя и не имел замены для классической механики, все-таки мог видеть, к каким следствиям ведет этот закон теплового излучения как для фотоэлектрического эффекта и других родственных ему явлений, связанных с превращениями лучистой энергии, так и для теплосемкости тел, в частности твердых тел. Но все мои попытки приспособить теоретические основы физики к этим результатам потерпели полную неудачу. Это было так, точно из-под ног ушла земля и нигде не было видно твердой почвы, на которой можно было бы строить. Мне всегда казалось чудом, что этой колеблющейся и полной противоречий основы оказалось достаточно, чтобы позволить Бору — человеку с гениальной интуицией и тонким чутьем — найти главнейшие законы спектральных линий и электронных оболочек атомов, включая их значение для химии. Это кажется мне чудом и теперь. Это — наивысшая музыкальность в области мысли.

Мои личные интересы в эти годы были направлены не столько на отдельные следствия из результатов Планка, как бы важны они ни были; главным моим вопросом был следующий. Какие общие выводы позволяет сделать формула излучения относительно структуры излучения и вообще относительно электромагнитной основы физики? Прежде чем говорить об этом подробнее, я должен коротко упомянуть о некоторых исследованиях, относящихся к броуновскому движению и родственном ему предметам (явления флуктуации) и основанных главным образом на классической кинетической теории. Не будучи знакомым с появившимися ранее исследованиями Больцмана и Гиббса, которые по существу исчерпывают вопрос, я развил статистическую механику и основанную на ней молекулярно-кинетическую теорию термодинамики. При этом главной моей целью было

найти такие факты, которые возможно надежнее устанавливали бы существование атомов определенной конечной величины.

Не зная, что наблюдения над «броуновским движением» давно известны, я открыл, что атомистическая теория приводит к существованию доступного наблюдению движения взвешенных микроскопических частиц. Наиболее простой вывод основывался на следующих соображениях. Если молекулярно-кинетическая теория в принципе верна, то суспензия видимых частиц должна, подобно раствору молекул, обладать осмотическим давлением, подчиняющимся газовым законам. Это осмотическое давление зависит от истинных размеров молекул, т. е. от числа молекул в грамм-эквиваленте. Если плотность суспензии неравномерна, то имеющееся в силу этого пространственное непостоянство осмотического давления вызывает выравнивающее диффузионное движение, которое можно вычислить из известной подвижности частиц. С другой стороны, тот же диффузионный процесс можно рассматривать как результат беспорядочных смещений взвешенных частиц под действием теплового движения, причем величина смещений наперед неизвестна. Приравнивая значения диффузионного потока, полученные обоими путями, приходим к количественному выражению статистического закона для этих перемещений, т. е. к закону броуновского движения. Согласие этих выводов с опытом, а также сделанное Планком определение истинной величины молекулы из закона излучения (для высоких температур) убедило многочисленных тогда скептиков (Оствальд, Мах) в реальности атомов. Предубеждение этих ученых против атомной теории можно несомненно отнести за счет их позитивистской философской установки. Это — интересный пример того, как философские предубеждения мешают правильной интерпретации фактов даже ученым со смелым мышлением и с тонкой интуицией. Предрассудок, который сохранился и до сих пор, заключается в убеждении, будто факты сами по себе, без свободного теоретического построения, могут и должны привести к научному познанию. Такой самообман возможен только потому, что нелегко осознать, что и те понятия, которые благодаря проверке и длительному употреблению кажутся непосредственно связанными с эмпирическим материалом, на самом деле свободно выбраны.

Успех теории броуновского движения снова ясно показал, что классическая механика неизменно дает надежные результаты тогда, когда ее применяют к движениям, для которых можно пренебречь высшими производными от скорости по времени. На признании этого факта можно построить сравнительно прямой метод, позволяющий кое-что узнать из формулы Планка о структуре излучения. А именно: можно заключить следующее. Свободно двигающееся (перпендикулярно к своей плоскости) зеркало, отражающее квазимонохроматически, должно совершать в пространстве, наполненном излучением, нечто вроде броуновского движения со

средней кинетической энергией, равной $\frac{1}{2} (R/N) T$ (R есть константа уравнения состояния для одной грамм-молекулы, N — число молекул в грамм-молекуле, T — абсолютная температура). Если бы излучение не испытывало локальных флуктуаций, то зеркало постепенно остановилось бы, так как благодаря его движению от его передней стороны отражается больше излучения, чем от задней. Но зеркало должно подвергаться действию флуктуаций испытываемого им давления в силу того, что волновые пучки, составляющие излучение, интерферируют между собой; эти флуктуации могут быть вычислены из теории Максвелла. Такое вычисление показывает, однако, что этих флуктуаций давления недостаточно (особенно при малых плотностях излучения) для того, чтобы сообщить зеркалу среднюю кинетическую энергию $\frac{1}{2} (R/N) T$. Чтобы получить такое значение энергии, нужно принять, что существуют флуктуации давления другого рода, не вытекающие из теории Максвелла. Эти флуктуации соответствуют предположению, что энергия излучения состоит из неделимых квантов энергии $h\nu$ (с импульсами $h\nu/c$, где c — скорость света), обладающих точечной локализацией, причем эти кванты отражаются целиком, не раздробляясь. Приведенное рассуждение показало самым наглядным и прямым образом, что планковым квантам приходится приписывать своего рода непосредственную реальность; следовательно, в отношении энергии излучение должно обладать своего рода молекулярной структурой, что, конечно, противоречит теории Максвелла. Применяя к излучению другие рассуждения, основанные непосредственно на больцмановом соотношении между вероятностью и энтропией (причем вероятность приравняется статистической частоте во времени), можно прийти к тому же результату. Эта двойственная природа излучения (и материальных частиц) является фундаментальным свойством реальности, которое квантовая механика истолковала остроумным и поразительно успешным образом. Почти все современные физики считают это толкование в основном окончательным, мне же оно кажется лишь временным выходом; несколько замечаний об этом следует дальше.

Благодаря такого рода рассуждениям уже вскоре после 1900 г., т. е. вскоре после основополагающей работы Планка, мне стало ясно, что ни механика, ни термодинамика не могут претендовать на полную точность (за исключением предельных случаев). Постепенно я стал отчаиваться в возможности докопаться до истинных законов путем конструктивных обобщений известных фактов. Чем дольше я отчаивался, тем больше я приходил к заключению, что только открытие общего формального принципа может привести нас к надежным результатам. Образцом представлялась мне термодинамика. Там общий принцип был дан в предположении: законы природы таковы, что построить вечный двигатель (первого и второго рода) невозможно. Но как же найти общий принцип, подоб-

ный этому? Такой принцип я получил после десяти лет размышлений из парадокса, на который я натолкнулся уже в 16 лет. Парадокс заключается в следующем. Если бы я стал двигаться вслед за лучом света со скоростью c (скорость света в пустоте), то я должен был бы воспринимать такой луч света как покоящееся, переменное в пространстве электромагнитное поле. Но ничего подобного не существует; это видно как на основании опыта, так и из уравнений Максвелла. Интуитивно мне казалось ясным с самого начала, что с точки зрения такого наблюдателя все должно совершаться по тем же законам, как и для наблюдателя, неподвижного относительно Земли. В самом деле, как же первый наблюдатель может знать или установить, что он находится в состоянии быстрого равномерного движения?

Можно видеть, что в этом парадоксе уже содержится зародыш специальной теории относительности. Сейчас, конечно, всякий знает, что все попытки удовлетворительно разъяснить этот парадокс были обречены на неудачу до тех пор, пока аксиома об абсолютном характере времени и одновременности оставалась укоренившейся, хотя и неосознанной в нашем мышлении. Установить наличие этой аксиомы и признать ее произвольность в сущности уже означает решить проблему. Критическому мышлению, необходимому для того, чтобы нащупать эту центральную точку, сильно способствовало, в частности, чтение философских трудов Давида Юма и Эрнста Маха.

Необходимо было составить себе ясное представление о том, что означают в физике пространственные координаты и время некоторого события. Физическое толкование пространственных координат предполагало наличие жесткого тела отсчета (система отсчета), которое, к тому же, должно находиться в более или менее определенном состоянии движения (инерциальная система). При заданной инерциальной системе координаты означали результаты определенных измерений жесткими (неподвижными) стержнями. (Следует постоянно иметь в виду, что предположение о том, что жесткие стержни в принципе существуют, естественно напрашивается из повседневного опыта, но по существу является произвольным.) При таком толковании пространственных координат вопрос о справедливости евклидовой геометрии становится проблемой физической.

Для того чтобы аналогично толковать время некоторого события, необходимо средство для измерения промежутков времени (таковым является идущий детерминированным образом периодический процесс, осуществляемый системой достаточно малых пространственных размеров). Часы, закрепленные неподвижно относительно инерциальной системы, определяют местное время. Совокупность местных времен всех пространственных точек составляет «время», относящееся к выбранной инерциальной системе, если, кроме того, дан способ «сверить» все эти часы между собой.

Очевидно, что априори совсем не обязательно, чтобы определенные таким образом «времена» различных инерциальных систем совпадали между собой. Несовпадение давно было бы замечено, если бы свет не казался (благодаря большой величине c) средством для установления абсолютной одновременности — по крайней мере в практике повседневного опыта.

Предположения о (принципиальном) существовании (идеальных или совершенных) масштабов и часов не независимы друг от друга. В самом деле, если считать, что предположение о постоянстве скорости света в пустоте не приводит к противоречиям, то световой сигнал, отражающийся туда и обратно от зеркал на концах твердого стержня, представляет собой идеальные часы.

Упомянутый выше парадокс можно формулировать так. Согласно употребляемым в классической физике правилам преобразования пространственных координат и времени событий при переходе от одной инерциальной системы к другой, следующие ниже два положения: 1) постоянство скорости света, 2) независимость законов (значит, в частности, и закона постоянства скорости света) от выбора инерциальной системы (специальный принцип относительности) несовместны между собой (хотя каждое в отдельности подтверждается опытом).

В основе специальной теории относительности лежит признание того, что положения 1) и 2) между собой совместны, если для пересчета координат и времен событий применять правила преобразования нового рода («преобразование Лоренца»). При данном физическом толковании координат и времени это утверждение означает не просто условный шаг, но заключает в себе определенные гипотезы о действительном поведении движущихся масштабов и часов — гипотезы, которые могут быть подтверждены или же опровергнуты на опыте.

Общий принцип специальной теории относительности содержится в постулате: законы физики инвариантны относительно преобразований Лоренца (дающих переход от одной инерциальной системы к любой другой инерциальной системе). Это есть ограничительный принцип для законов природы, который можно сравнить с лежащим в основе термодинамики ограничительным принципом несуществования вечного двигателя.

Скажем сперва несколько слов об отношении теории к «четырёхмерному пространству». Весьма распространенной ошибкой является мнение, будто специальная теория относительности как бы открыла, или же ввела, четырёхмерность физического многообразия (континуума). Конечно, это не так. Четырёхмерное многообразие пространства и времени лежит в основе также и классической механики. Только в четырёхмерном континууме классической физики «сечения», соответствующие постоянному значению времени, обладают абсолютной (т. е. не зависящей от выбора системы отсчета) реальностью. Тем самым четырёхмерный континуум естественно

распадается на трехмерный и на одномерный (время), так что четырехмерное рассмотрение не навязывается как *необходимое*. Специальная же теория относительности, наоборот, создает формальную зависимость между тем, как должны входить в законы природы пространственные координаты, с одной стороны, и временная координата, с другой.

Важный вклад Минковского в теорию состоит в следующем. До исследования Минковского для проверки инвариантности физического закона приходилось выполнять над ним преобразование Лоренца до конца. Минковскому же удалось ввести такой аппарат, что сама математическая форма закона уже обеспечивает его инвариантность относительно преобразований Лоренца. Создав четырехмерное тензорное исчисление, Минковский дал для четырехмерного пространства то, что дает обыкновенное векторное исчисление для трех пространственных измерений. Он также показал, что преобразование Лоренца является не чем иным, как поворотом координатной системы в четырехмерном пространстве (если не считать отличия в знаке, обусловленного особым характером времени).

Сделаем теперь критическое замечание о теории в том виде, как она охарактеризована выше. Можно заметить, что теория вводит (помимо четырехмерного пространства) два рода физических предметов, а именно: 1) масштабы и часы, 2) все остальное, например электромагнитное поле, материальную точку и т. д. Это в известном смысле нелогично; собственно говоря, теорию масштабов и часов следовало бы выводить из решений основных уравнений (учитывая, что эти предметы имеют атомную структуру и движутся), а не считать ее независимой от них. Обычный образ действия имеет, однако, свое оправдание, поскольку с самого начала ясна недостаточность принятых постулатов для обоснования теории масштабов и часов. Эти постулаты не настолько сильны, чтобы из них можно было вывести достаточно полные уравнения для физических процессов. Если вообще не отказываться от физического толкования координат (что само по себе было бы возможно), то лучше уж допустить такую непоследовательность, но с обязательством избавиться от нее на дальнейшей стадии развития теории. Однако этот грех нельзя узаконивать до такой степени, чтобы разрешать, например, пользоваться представлением о расстоянии, как о физической сущности особого рода, существенно отличной от других физических величин (сводить физику к геометрии и т. п.).

Выясним теперь, каковы те окончательно установленные истины, которыми физика обязана специальной теории относительности.

1) Одновременности отдаленных событий не существует; значит, нет и непосредственного дальнего действия в смысле ньютоновой механики. Правда, по этой теории можно было бы ввести дальнего действия, распространяющиеся со скоростью света, но это было бы совершенно искусственным; дело в том, что в теории такого рода не может быть разумного выра-

жения для принципа энергии. Представляется поэтому неизбежным описывать физическую реальность непрерывными функциями точки в пространстве. В силу этого материальная точка уже не может считаться основным понятием теории.

2) Закон сохранения импульса и закон сохранения энергии сливаются в один-единственный закон. Инертная масса замкнутой системы тождественна с ее энергией, так что масса перестает быть самостоятельным понятием.

Замечание. Скорость света c является одной из величин, входящих в физические уравнения в качестве «универсальной постоянной». Однако если взять за единицу времени вместо секунды то время, за которое свет проходит 1 см, то c больше не будет входить в уравнения. В этом смысле можно сказать, что постоянная c является лишь кажущейся универсальной постоянной.

Общезвестно и всеми принято, что, кроме того, можно исключить из физики другие универсальные постоянные, если вместо грамма и сантиметра ввести подходящие «естественные» единицы (например, массу и радиус электрона).

Если представить себе это выполненным, то в основные уравнения физики будут входить только лишь «безразмерные» постоянные. Относительно этих последних мне бы хотелось высказать одно предложение, которое нельзя обосновать пока ни на чем другом, кроме веры в простоту и понятность природы. Предложение это — следующее: таких произвольных постоянных не существует. Иначе говоря, природа устроена так, что ее законы в большой мере определяются уже чисто логическими требованиями настолько, что в выражения этих законов входят только постоянные, допускающие теоретическое определение (т. е. такие постоянные, что их численных значений нельзя менять, не разрушая теории).

Специальная теория относительности обязана своим возникновением уравнениям Максвелла для электромагнитного поля. И обратно, только специальная теория относительности дает уравнениям Максвелла удовлетворительное формальное толкование. Уравнения Максвелла представляют собой простейшие инвариантные относительно преобразования Лоренца уравнения поля, которые только можно написать для кососимметричного тензора, связанного с векторным полем. Все это было бы хорошо, если бы мы не знали из квантовых явлений, что теория Максвелла не передает энергетических свойств излучения. Но для решения вопроса о том, как именно следует видоизменить теорию Максвелла (причем видоизменение должно быть естественным), специальная теория относительности не дает достаточных указаний. И на вопрос Маха «почему инерциальные системы физически выделены относительно других систем отсчета?» эта теория оже не дает ответа.

Тот факт, что специальная теория относительности представляет лишь первый шаг в необходимом развитии, стал мне ясен лишь при попытке представить в рамках этой теории и тяготение. В классической механике, истолкованной в духе теории поля, потенциал тяготения представляется как *скалярное* поле (простейшая теоретическая возможность поля с одной единственной составляющей). Такая скалярная теория тяготения может быть легко сделана инвариантной по отношению к группе преобразований Лоренца. Итак, естественной представляется следующая программа: полное физическое поле состоит из скалярного поля (тяготение) и векторного поля (электромагнитное поле); дальнейшие открытия могли бы заставить вести еще более сложные поля, но пока об этом можно было бы не беспокоиться.

Возможность реализации этой программы представлялась, однако, сомнительной с самого начала. Дело в том, что теория должна была соединить в себе следующие вещи:

1) из общих соображений частной теории относительности было ясно, что *инертная* масса физической системы при увеличении полной энергии (в частности, при увеличении кинетической энергии) должна возрастать;

2) из очень точных опытов (в особенности из опытов Этвеша с крутильными весами) было эмпирически известно с очень большой точностью, что *тяжелая* масса тела в точности равна его *инертной* массе.

Из (1) и (2) следовало, что вес системы зависит вполне определенным и известным образом от ее полной энергии. Если теория этого не давала или давала только с натяжкой, то ее надо было отбросить. Проще всего это условие можно выразить так: при падении системы в данном поле силы тяжести ускорение не зависит от природы падающей системы (а значит, в частности, и от содержащейся в ней энергии).

Однако выяснилось, что в рамках намеченной программы это элементарное положение вещей вообще не может быть учтено надлежащим образом, во всяком случае без натяжки. Это убедило меня в том, что в рамках специальной теории относительности нет места для удовлетворительной теории тяготения.

И вот мне пришло в голову: факт равенства инертной и весомой массы или, иначе, тот факт, что ускорение свободного падения не зависит от природы падающего вещества, допускает и иное выражение. Его можно выразить так: в поле тяготения (малой пространственной протяженности) все происходит так, как в пространстве без тяготения, если в нем вместо «инерциальной» системы отсчета ввести систему, ускоренную относительно нее.

Значит, если считать, что поведение тел в ускоренной системе отсчета обусловлено как бы «истинным» полем тяготения (а не только кажущимся), то эту систему отсчета можно считать «инерциальной» с тем же правом, как и первоначальную систему.

Если считать возможными любые гравитационные поля, простирающиеся сколь угодно далеко и не ограниченные предельными условиями, то понятие инерциальной системы становится бессодержательным. Понятие «ускорение по отношению к пространству», а с ним и принцип инерции теряют тогда всякий смысл, причем исчезает также парадокс Маха.

Таким образом, равенство инертной и тяжелой массы приводит вполне естественно к мысли о том, что основное требование специальной теории относительности (инвариантность законов по отношению к преобразованию Лоренца) слишком узко, т. е. что нужно постулировать инвариантность законов и относительно *нелинейных* преобразований координат в четырехмерном континууме.

Это произошло в 1908 г. Почему понадобилось еще 7 лет, чтобы построить общую теорию относительности? Главная причина заключается в следующем: не так легко освободиться от представления, что координаты имеют прямой метрический смысл. Переворот совершался примерно так.

Мы исходим из пустого пространства без поля, в том виде, как оно рассматривается — в инерциальной системе отсчета — в специальной теории относительности. Это есть простейший, физический возможный случай. Вообразим себе теперь инерциальную систему, введенную так, что она движется относительно инерциальной системы в одном направлении (в трехмерном смысле) с постоянным ускорением (соответственно определенным). По отношению к этой системе возникнет статическое параллельное поле тяготения. При этом систему отсчета можно взять жесткую с трехмерной евклидовой метрикой. Но в равноускоренной системе, в которой имеется статическое поле, часы *идут не так, как одинаково устроенные часы* в неподвижной системе. Из этого частного примера уже видно, что непосредственно метрическое значение координат теряется, если вообще допускать нелинейные преобразования координат. Но делать это *необходимо*, если стремиться к тому, чтобы равенство тяжелой и инертной массы было заложено уже в основах теории, и если стремиться преодолеть парадокс Маха относительно инерциальных систем.

Но раз приходится отказаться от того, чтобы придавать координатам непосредственный метрический смысл (разность координат равна измеряемой длине или промежутку времени), то нельзя уже обойтись без признания равноценности всех координатных систем, получаемых путем непрерывных преобразований.

Сообразно этому общая теория относительности исходит из следующего основного положения. Законы природы должны выражаться такими уравнениями, которые были бы ковариантны относительно группы непрерывных преобразований координат. Эта группа становится здесь, таким образом, на место группы преобразований Лоренца специальной теории относительности; эта последняя группа является подгруппой первой группы.

Само по себе это требование еще не может, конечно, служить достаточным определенной исходной точкой для вывода основных уравнений физики. Прежде всего, можно даже оспаривать, содержит ли это требование действительное ограничение для физических законов; в самом деле, если данный закон постулирован сперва только для некоторых координатных систем, то его всегда можно переформулировать так, чтобы новая формулировка имела уже общековариантный вид. Кроме того, с самого начала ясно, что существует бесчисленное множество уравнений поля, допускающих такую общековариантную формулировку. Выдающееся эвристическое значение общего принципа относительности состоит вот в чем: он приводит нас к отысканию тех систем уравнений, которые, будучи *общековариантными*, являются в то же время *наиболее простыми*; среди этих систем мы и должны искать уравнения поля, выражающие свойства физического пространства. Поля, получаемые одно из другого преобразованиями координат, отражают одну и ту же действительность.

Для искателя в этой области главным вопросом является следующий: какого математического характера будут величины (функции координат), через которые выражаются физические свойства пространства («структура»)? И уже потом: каким уравнениям удовлетворяют эти величины?

На эти вопросы мы сегодня отнюдь не можем еще ответить с уверенностью. Путь, по которому я пошел при первой формулировке общей теории относительности, может быть characterized следующим образом. Если мы и не знаем, каковы те переменные (та структура поля), которыми следует описывать физическое пространство, то нам достоверно известен один частный случай: «свободное от поля» пространство специальной теории относительности. Такое пространство характеризуется тем, что в надлежаще выбранной системе координат относящиеся к двум соседним точкам выражение

$$ds^2 = dx_1^2 + dx_2^2 + dx_3^2 - dx_4^2 \quad (1)$$

представляет измеримую величину (квадрат расстояния), следовательно, имеет реальный физический смысл. Отнесенная к произвольной системе эта величина выражается так:

$$ds^2 = g_{ik} dx_i dx_k, \quad (2)$$

где значки пробегают значения от 1 до 4. Величины g_{ik} образуют симметричный тензор. Если после выполнения преобразования над выражением (полем) (1) получаются g_{ik} с исчезающими первыми производными по координатам, то по отношению к этой системе координат существует как бы гравитационное поле (в смысле вышеизложенного рассуждения), а именно: гравитационное поле совсем частного вида. Благодаря римано-

вым исследованиям n -мерных метрических пространств это особое поле может быть инвариантно характеризовано следующим образом:

1) Риманов тензор кривизны R_{iklm} , образованный из коэффициентов метрики (2), равен нулю.

2) По отношению к инерциальной системе (в которой справедливо выражение (1)) траектория материальной точки есть прямая, а тем самым есть экстремаль (геодезическая). Последнее же утверждение представляет такую характеристику закона движения, которая опирается на выражение (2).

Общий закон физического пространства должен быть обобщением только что написанного закона. Тут я предположил, что имеются две ступени обобщения:

а) чистое поле тяготения,

б) общее поле (в котором встречаются и величины, каким-то образом соответствующие электромагнитному полю).

Случай а) характеризовался тем, что хотя поле все еще может быть представлено римановой метрикой (2) с соответствующим симметричным тензором, но при этом не существует представления вида (1) (кроме как в бесконечно малом). Это значит, что в случае а) тензор Римана не исчезает. Однако ясно, что в этом случае должны быть справедливы уравнения поля, выражающие закон, который представляет собой обобщение (ослабление) прежнего закона. Если потребовать, чтобы эти уравнения тоже были второго порядка и линейные во вторых производных, то этим условиям удовлетворяют только уравнения

$$0 = R_{kl} = g^{im} R_{iklm},$$

получаемые из предыдущих однократным свертыванием. Только эти уравнения и могли рассматриваться как уравнения поля в случае а). Далее, естественно считать, что и в случае а) геодезическая по-прежнему дает закон движения материальной точки.

Попытка найти представление для полного поля б) и получить для него уравнения казалась мне в то время бесперспективной и я на нее не отважился. Я предпочел установить для изображения всей физической реальности предварительные формальные рамки. Это было нужно для того, чтобы иметь возможность исследовать, хотя бы предварительно, пригодность основной идеи общей относительности. Происходило это так.

В теории Ньютона можно написать в качестве закона для поля тяготения уравнение

$$\Delta\varphi = 0$$

(где φ — потенциал тяготения), которое должно выполняться в таких местах, где плотность ρ материи равна нулю. В общем случае следовало

бы положить

$$\Delta\varphi = 4\pi k\rho \quad (\rho \text{ — плотность массы})$$

(уравнение Пуассона). В релятивистской теории поля тяготения на место $\Delta\varphi$ становится R_{ii} . В правую часть мы должны тогда поставить вместо ρ тоже тензор. Так как мы из частной теории относительности знаем, что (инертная) масса равна энергии, то в правую часть надлежит поставить тензор плотности энергии, точнее, полной плотности энергии, поскольку она не принадлежит чистому полю тяготения. Мы приходим, таким образом, к уравнению поля

$$R_{ik} - \frac{1}{2}g_{ik}R = -\kappa T_{ik}.$$

Второй член в левой части добавлен из формальных соображений, а именно: левая часть написана так, что ее расходимость в смысле абсолютного дифференциального исчисления тождественно равна нулю. Правая часть включает в себя все то, что не может быть пока объединено в единой теории поля. Конечно, я ни одной минуты не сомневался в том, что такая формулировка есть только временный выход из положения, предпринятый с целью дать общему принципу относительности какое-то замкнутое выражение. Эта формулировка была ведь по существу *не более* чем теорией поля тяготения, несколько искусственно оторванного от единого поля еще неизвестной структуры.

В набросанной теории, помимо требования инвариантности уравнений по отношению к группе непрерывных преобразований координат, на безусловное (окончательное) значение может, пожалуй, претендовать только предельный случай чистого поля тяготения и связь этого поля с метрической структурой пространства. Поэтому мы сейчас будем говорить только об уравнениях чистого поля тяготения.

Своеобразием этих уравнений является, с одной стороны, их сложное строение, особенно их нелинейный характер по отношению к переменным поля и их производным, а с другой стороны, их единственность, т. е. та логическая необходимость, с которой группа преобразований определяет вид этих сложных уравнений. Если бы мы остановились на специальной теории относительности, т. е. на инвариантности относительно группы Лоренца, то уравнения поля $R_{ik} = 0$ остались бы инвариантными и в рамках этой более узкой группы. Но с точки зрения более узкой группы прежде всего не было бы никакого основания считать, что тяготение должно описываться такой сложной системой величин (структурой), какой является симметричный тензор g_{ik} . Если бы даже и можно было найти для этого достаточные причины, то оказалось бы, что существует несметное число уравнений поля, построенных из величин g_{ik} , которые все ковариантны относительно

преобразований Лоренца (но не относительно общей группы). Даже если бы случайно удалось из всех мыслимых законов, инвариантных в группе Лоренца, угадать как раз тот, которому принадлежит более широкая группа, то все-таки мы бы не достигли той ступени познания, какую дает нам общий принцип относительности. Ибо с точки зрения группы Лоренца два решения, связанные нелинейным преобразованием координат, должны были бы считаться физически различными, что неверно, так как с точки зрения общей группы они дают только два различных представления одного и того же поля.

Еще одно общее замечание о структуре поля и группе. Ясно, что, вообще говоря, теория представляется нам тем совершеннее, чем проще положенная в ее основу «структура» поля и чем шире та группа, относительно которой уравнения поля инвариантны. Но эти два требования, очевидно, вступают друг с другом в конфликт. Согласно специальной теории относительности (группа Лоренца), можно, например, написать ковариантное уравнение уже для простейшей мыслимой структуры (скалярное поле), тогда как в общей теории относительности (более широкая группа непрерывных преобразований координат) инвариантные уравнения поля существуют только для более сложной структуры, а именно: для симметричного тензора. В обоснование того, что в физике нужно требовать инвариантности относительно более широкой группы, мы привели *физические* доводы; с чисто математической точки зрения я не вижу необходимости приносить более простую структуру поля в жертву широте группы ².

Группа общей относительности впервые приводит к тому, что наиболее простой инвариантный закон уже не будет линейным и однородным в переменных поля и их производных. Это — обстоятельство фундаментальной важности, и вот по какой причине. Если уравнения поля линейны (и однородны), то сумма двух решений снова будет решением; это имеет место, например, для максвелловских уравнений поля в пустом пространстве. В такой (линейной) теории уравнений поля недостаточно для вывода закона взаимодействия между объектами, которые описываются (каждый в отдельности) решениями системы уравнений поля. Поэтому в прежних теориях необходимы были, наряду с уравнениями поля, особые уравнения, определяющие движение материальных объектов под действием поля. Правда, первоначально в релятивистской теории тяготения постулировался, наряду с законами для поля и независимо от него, также и закон движения (геодезическая). Но впоследствии выяснилось, что не нужно,

² Оставаться при более узкой группе и одновременно брать более сложную структуру поля (ту же, как в общей теории относительности) означает наивную непоследовательность. Грех остается грехом, хотя бы его совершали мужи, в остальном почтенные.

да и нельзя, вводить закон движения независимо, а что он неявно содержится в законе для поля тяготения.

Сущность этого, довольно сложного положения вещей можно представить себе более наглядно следующим образом. Одна-единственная неподвижная материальная точка изображается полем тяготения, которое, конечно, и регулярно везде, за исключением того места, где находится сама материальная точка; в этом месте поле имеет особенность. Если же путем интегрирования уравнений поля вычислить поле, соответствующее двум неподвижным материальным точкам, то оно будет иметь, помимо особенностей в материальных точках, также и особенную линию, соединяющую материальные точки между собой. Но можно задать движение материальных точек так, чтобы определяемое ими поле тяготения вне материальных точек нигде не имело особенностей. Это будут как раз те движения, которые в первом приближении описываются законами Ньютона. Таким образом, можно сказать: массы движутся так, что уравнения поля допускают решения, не имеющие особенностей в пространстве вне масс. Это свойство уравнений тяготения непосредственно связано с их нелинейностью, а она, в свою очередь, обусловлена более широкой группой преобразований.

Тут можно было бы, впрочем, высказать такое возражение. Если допускаются особенности в местах материальных точек, то какое тогда имеет оправдание для запрещения особенностей в остальном пространстве? Это возражение было бы оправдано в том случае, если бы уравнения тяготения могли рассматриваться как уравнения единого полного поля. При существующем же положении нам приходится говорить, что поле материальной частицы может рассматриваться как *чистое поле тяготения* с тем меньшим правом, чем ближе мы подходим к самой частице. Если бы мы имели уравнения для единого полного поля, то нужно было бы требовать, чтобы и самые частицы могли быть представлены как решения полных уравнений поля, *нигде* не имеющие особенностей. И только тогда общая теория относительности стала бы *замкнутой* теорией.

Прежде чем переходить к вопросу о завершении общей теории относительности, я должен высказаться о занимаемой мною позиции по отношению к той физической теории, которая из всех физических теорий нашего времени достигла наибольших успехов. Я имею в виду статистическую квантовую механику, которая приобрела стройную логическую форму около 25 лет тому назад (Шредингер, Гейзенберг, Дирак, Борн). Это единственная современная теория, дающая стройное объяснение тому, что мы знаем относительно квантового характера микромеханических процессов. Эта теория, с одной стороны, и теория относительности, с другой, обе в известном смысле считаются верными, хотя слияние этих теорий не удалось до сих пор, несмотря на все усилия. С этим, должно быть, и связано то, что среди современных физиков-теоретиков имеются совершенно раз-

личные мнения о том, как будет выглядеть теоретический фундамент будущей физики. Будет ли это теория поля? Будет ли это теория в основном статистическая? Я скажу здесь кратко о том, что я об этом думаю.

Физика есть стремление осознать сущее как нечто такое, что мыслится независимым от восприятия. В этом смысле говорят о «физически реальном». В доквантовой физике не было сомнений, как это следует понимать. В теории Ньютона реальность представлялась материальными точками в пространстве и во времени, в теории Максвелла — полем в пространстве и во времени. В квантовой механике это менее ясно. Если спросить: представляет ли функция ψ квантовой теории какое-то реальное положение вещей, реальное в том же смысле, как система материальных точек или электромагнитное поле, то люди медлят с простым ответом «да» или «нет». Почему? Функция ψ (в определенный момент времени) выражает следующее: какова вероятность того, что определенная физическая величина q (или p) окажется в определенном заданном интервале, если я буду ее измерять в момент t . Здесь вероятность должна рассматриваться как величина, доступная опытному определению, т. е. как величина безусловно «реальная». Определить ее я смогу, если я очень много раз буду создавать ту же самую функцию ψ и каждый раз буду измерять q . А как же обстоит дело с отдельным измерением q ? Обладала ли соответствующая индивидуальная система данным значением q уже до измерения? На этот вопрос в рамках теории нет определенного ответа, потому что ведь измерение есть процесс, означающий конечное внешнее вмешательство в систему; поэтому можно себе представить, что система получает определенное (а именно: измеренное) численное значение q (или p) только в результате самого измерения. Для дальнейшей дискуссии я вообразу себе двух физиков A и B , которые придерживаются различных пониманий реального состояния, описываемого функцией ψ .

A . Отдельная система обладает (до измерения) определенным значением q (или p) для всех переменных системы; это и есть то значение, которое устанавливается при измерении этих переменных. Исходя из этого понимания, он объявит: функция ψ не есть исчерпывающее представление реального состояния системы; она выражает только то, что мы знаем о системе из прежних измерений.

B . Отдельная система не обладает (до измерения) определенным значением q (или p). Измеренное значение возникает только благодаря акту измерения с соответствующей этому значению вероятностью, получаемой из функции ψ . Исходя из этого понимания, он объявит (или по крайней мере имеет право объявить): функция ψ есть исчерпывающее представление реального состояния системы.

А теперь мы предложим вниманию обоих этих физиков следующий случай. Пусть имеется система, состоящая (в рассматриваемый момент t)

из двух подсистем S_1 и S_2 , которые в этот момент разделены пространственно и не взаимодействуют заметным образом в смысле классической физики. Пусть вся система полностью описывается в смысле квантовой механики известной волновой функцией, а именно: функцией ψ_{12} . Все квантисты согласны между собой в следующем. Если я произведу полное измерение над S_1 , то из результатов измерения и из ψ_{12} я получу вполне определенную волновую функцию ψ_2 системы S_2 . При этом характер ψ_2 зависит от того, *какого рода измерение* произведено над S_1 . И вот мне кажется, что можно говорить о реальном положении вещей в подсистеме S_2 . Об этом реальном положении вещей мы знаем наперед еще меньше, чем о системе, описанной волновой функцией. Но *одно* предположение представляется мне бесспорным. Реальное положение вещей (состояние) системы S_2 не зависит от того, что проделывают с пространственно отделенной от нее системой S_1 . Но в зависимости от того, какого рода измерение я произвожу над S_1 , я получаю для второй подсистемы разные ψ_2 (ψ_2, ψ_2', \dots). Реальное состояние S_2 должно быть, однако, независимым от того, что происходит в S_1 . Значит, для одного и того же реального состояния S_2 могут быть найдены разные функции ψ_2 (в зависимости от выбора измерения над S_1). [Такого вывода можно было бы избежать только одним из двух способов. Или надо предположить, что измерение над S_1 изменяет (телепатически) реальное состояние S_2 , или же надо отрицать, что вещи, пространственно отделенные друг от друга, вообще могут иметь независимые реальные состояния. То и другое представляется мне совершенно неприемлемым.]

И вот, если физики A и B сочтут это рассуждение верным, то B должен будет отказаться от признания того, что функция ψ является полным описанием реального положения вещей. Потому что в этом случае было бы невозможно, чтобы одному и тому же положению вещей в (S_2) соответствовали две различные волновые функции.

Тогда статистический характер современной теории являлся бы необходимым следствием неполноты описания систем в квантовой механике, и не было бы уже никакого основания считать, что в будущем физика должна будет основываться на статистике.

Мое мнение сводится к тому, что если принять за основу некоторые понятия, заимствованные главным образом из классической механики, то современная квантовая теория может считаться наилучшей формулировкой реальных соотношений. Однако я не думаю, что эта теория является подходящей исходной точкой для будущего развития. Это тот пункт, в котором мои ожидания расходятся с ожиданиями большинства современных физиков, которые убеждены в том, что существенные черты квантовых явлений (как бы скачкообразные и не детерминированные во времени изменения состояния системы, корпускулярные и в то же время волновые

свойства элементарных образований, несущих энергию) не могут быть учтены теорией, описывающей реальное состояние вещей непрерывными функциями координат, удовлетворяющими некоторым дифференциальным уравнениям. Они думают также, что таким путем нельзя будет истолковать атомную структуру вещества и излучения. Они ожидают, что системы дифференциальных уравнений, о которых может идти речь в такой теории, вообще не имеют решений регулярных (не имеющих особенностей) во всем четырехмерном пространстве. Но прежде всего они считают, что, видимо, скачкообразный характер элементарных процессов может быть отобразен только теорией, являющейся по существу статистической; в такой теории скачкообразные изменения состояния систем должны учитываться путем *непрерывного* изменения вероятностей возможных состояний.

Все эти замечания кажутся мне довольно вескими. Но главный вопрос заключается, как мне кажется, в следующем.

Какое направление обещает успех при сегодняшнем состоянии теории? При выборе направления я склонен руководствоваться моим опытом построения теории тяготения. Уравнения этой теории подают, по моему мнению, большие надежды на получение чего-либо *точного*, чем все остальные уравнения физики. Возьмем для сравнения, например, уравнения Максвелла для пустого пространства. Они являются формулировкой, соответствующей наблюдениям над бесконечно слабыми электромагнитными полями. Это эмпирическое происхождение уже обуславливает их линейную форму; но мы уже указывали, что истинные законы не могут быть линейными. Линейные законы удовлетворяют в отношении решений принципу суперпозиции и, следовательно, ничего не говорят относительно взаимодействий элементарных образований. Истинные законы не могут быть линейными и не могут быть получены из линейных законов. Теория тяготения научила меня и другому: собрание эмпирических фактов, как бы обширно оно ни было, не может привести к установлению таких сложных уравнений. На опыте можно проверить теорию, но нет пути от опыта к построению теории. Уравнения такой степени сложности, как уравнения поля тяготения, могут быть найдены только путем нахождения логически простого математического условия, определяющего вполне или почти вполне вид этих уравнений. Но когда такие достаточно жесткие формальные условия уже установлены, то для построения теории требуется совсем немного фактических данных. В случае уравнений тяготения такими формальными условиями являются: наличие четырех измерений и предположение о том, что структура пространства определяется симметричным тензором. Эти условия вместе с требованием инвариантности относительно группы непрерывных преобразований определяют вид уравнений практически вполне однозначно.

Наша задача состоит в том, чтобы найти уравнения для полного поля. Искомая структура поля должна быть обобщением симметрического тензора. Группа не должна быть более узкой, чем группа непрерывных преобразований координат. Если теперь ввести более сложную структуру, то эта группа уже не будет так жестко определять уравнения, как в случае структуры, характеризуемой симметричным тензором. Поэтому прекраснее всего было бы, если бы удалось снова расширить группу, по аналогии с тем шагом, который привел от специальной теории относительности к общей. Я пробовал, в частности, привлечь сюда группу комплексных преобразований координат. Все такие попытки были безуспешны. Я отказался также и от явного или скрытого увеличения числа измерений пространства. Это направление было намечено Калуцой, и оно еще и сейчас имеет своих сторонников (в своем проективном варианте). Мы ограничиваемся четырехмерным пространством и группой непрерывных вещественных преобразований координат. После многих лет тщетных поисков я считаю логически наиболее удовлетворительным решение, набросок которого дается дальше.

Вместо симметричных g_{ik} ($g_{ik} = g_{ki}$) вводится несимметричный тензор g_{ik} . Эта величина составлена из симметричной части s_{ik} и из антисимметричной части a_{ik} , которая может быть вещественной или чисто мнимой. Мы имеем:

$$g_{ik} = s_{ik} + a_{ik}.$$

С точки зрения групповых свойств такое объединение s_{ik} и a_{ik} является искусственным, поскольку каждая из этих величин и в отдельности имеет характер тензора. Однако оказывается, что эти g_{ik} (рассматриваемые как целое) играют в построении новой теории такую же роль, как симметричные g_{ik} в теории тяготения.

Это обобщение структуры пространства представляется естественным и с точки зрения наших физических познаний, потому что мы знаем, что электромагнитное поле связано с кососимметричным тензором.

Далее, для теории тяготения существенно, что из симметричных g_{ik} можно образовать скалярную плотность $\sqrt{|g_{ik}|}$, а также и контравариантный тензор g^{ik} согласно определению. $g_{ik}g^{il} = \delta_k^l$ (δ_k^l — тензор Кронекера). Образованные таким путем величины, а также тензорные плотности допускают совершенно аналогичное определение и для несимметричных g_{ik} .

Далее, в теории тяготения существенно, что для данного симметричного поля g_{ik} можно определить симметричное в нижних значках поле Γ_{ik}^l , геометрический смысл которого состоит в том, что оно определяет параллельный перенос вектора. Аналогично, для несимметричных g_{ik}

можно определить несимметричные Γ_{lk}^l по формуле

$$g_{ik, l} - g_{sl} \Gamma_{il}^s - g_{is} \Gamma_{lk}^s = 0. \quad (A)$$

Это соотношение совпадает с соответствующим соотношением для симметричных g с той только разницей, что здесь, конечно, нужно обращать внимание на положение нижних значков в величинах g и Γ .

Как и в вещественной теории, из Γ можно образовать кривизну R_{iklm} и из нее, путем свертывания, кривизну R_{kl} . Наконец, пользуясь некоторым вариационным принципом с соотношениями (A), можно найти совместные между собой уравнения поля:

$$g_s^{ik} = 0 \left[\text{где } g^{ik} = \frac{1}{2} (g^{ik} - g^{ki}) \sqrt{\|g_{il}\|} \right], \quad (B_1)$$

$$\Gamma_{is}^s = 0 \left[\text{где } \Gamma_{is}^s = \frac{1}{2} (\Gamma_{is}^s - \Gamma_{si}^s) \right], \quad (B_2)$$

$$R_{kl} = 0, \quad (C_1)$$

$$S_{\underset{\sim}{l}, l, m} + R_{lm, k} + R_{\underset{\sim}{m}, l, l} = 0. \quad (C_2)$$

При этом каждое из уравнений (B₁), (B₂) является следствием другого, если выполнено (A). Символ R_{kl} означает симметричную, а символ $R_{\underset{\sim}{kl}}$ — антисимметричную часть величины R_{ik} .

В случае равенства нулю антисимметричной части g_{ik} эти формулы приводятся к (A) и (C₁). Это будет случай чистого поля тяготения.

Мне кажется, что эти формулы представляют собой наиболее естественное обобщение уравнений тяготения³. Проверка их физической пригодности — задача чрезвычайно трудная, потому что здесь приближения ничего не дают. Вопрос в следующем. Какие существуют решения этих уравнений, не имеющие особенностей во всем пространстве?

Этот рассказ достиг своей цели, если он показал читателю, как связаны между собой усилия целой жизни и почему они привели к ожиданиям определенного рода.

Русский перевод работы под заглавием «Творческая автобиография» напечатан в журнале «Успехи физических наук», 1956, 59, 71; в сб. «Эйнштейн и современная физика». М., 1956, 27—71 и в сб. «Физика и реальность» (131—166). Отрывок из английского перевода этой работы был также опубликован в журнале «Science», 1951, CXIII, 82—84.

³ Если только вообще можно идти по пути исчерпывающего представления физической реальности на основе понятия континуума, то, по моему мнению, имеется довольно большая вероятность, что предложенная здесь теория подтвердится.

ЗАМЕЧАНИЯ К СТАТЬЯМ *

Прежде всего я должен заметить, что справиться со стоявшей передо мной задачей (я должен был высказать свое мнение о статьях, собранных в этом томе) было нелегко. Причина моих затруднений заключалась в том, что в этих статьях затрагивалось слишком много областей науки, которые при современном уровне наших знаний связаны между собой весьма слабо. Сначала я предпринял попытку рассмотреть каждую из статей в отдельности. Однако от такого подхода пришлось отказаться, ибо то, что при этом получалось, не было даже приблизительно сколько-нибудь однородным, и чтение подобного обзора вряд ли могло быть полезным или приятным. Поэтому в конце концов я решил расположить свои замечания, насколько это возможно, по темам.

Кроме того, после нескольких тщетных попыток я обнаружил, что склад мышления авторов некоторых статей настолько радикально отличается от моего собственного, что по поводу этих статей я не могу сказать ничего полезного. Сказанное отнюдь не следует понимать в том смысле, что эти статьи я расцениваю менее высоко, чем те, которые написаны с более близких мне позиций, ибо содержание первых, на мой взгляд, вполне разумно. Однако свои замечания я посвящаю именно последним статьям.

Сначала упомяну статьи Вольфганга Паули и Макса Борна. В этих статьях излагается содержание моих работ по общим вопросам квантовой теории и статистике в их внутренней взаимосвязи и дается оценка того вклада, который внесли эти работы в развитие физики за последние полвека. Крайне существенно, что эту оценку дают именно Паули и Борн,

.....
 * *Remarks concerning the essays brought together in this co-operative volume.* В кн.: «Albert Einstein philosopher-scientist». Ed. by P. A. Schillp. The library of the living philosophers, v. 7. Evanston, Illinois, 1949, 665—688. (2-е изд. вышло в 1951 г.; 3-е изд. — в 2-х томах — в 1959 г. Нью-Йорк. — *Ред.*). Немецкий текст см. «*Bemerkungen zu den in diesem Bände vereinigte Arbeiten*». В кн.: «Albert Einstein als Philosoph und Naturforscher». Herausgegeben von Dr. P. A. Schillp. W. Kohlhammer Verlag. Stuttgart, 1955, 493—511.

ибо только тот, кто с успехом боролся за решение важнейших проблем своего века, может глубоко постичь существо этих проблем. Столь глубокое понимание обстановки будет недоступно историку, живущему в более поздние времена, ибо ему трудно будет отойти от концепций и взглядов, кажущихся его поколению вполне установившимися и даже самоочевидными. Оба автора с осуждением относятся к тому, что я отвергаю основную идею современной статистической квантовой теории. Но я все же не верю, что такая фундаментальная концепция может служить надлежащей основой для всей физики в целом. Более подробно я остановлюсь на этом ниже.

Теперь я перехожу к, вероятно, наиболее интересному вопросу, рассмотрение которого становится совершенно необходимым в связи с развернутой аргументацией, приведенной моими глубокоуважаемыми коллегами Борном, Паули, Гайтлером, Бором и Маргенау¹. Все они твердо убеждены в том, что загадка двойственной природы всех частиц (их корпускулярные и волновые свойства) нашла в принципе свое окончательное решение в статистической квантовой теории. По их мнению, крупные успехи этой теории свидетельствуют о том, что теоретически полное описание некоторой системы может содержать лишь статистические утверждения относительно измеримых величин этой системы. По-видимому, все названные выше физики придерживаются того мнения, что соотношение неопределенностей Гейзенберга (правильность которого, на мой взгляд, с полным основанием считается окончательно доказанной) убедительно свидетельствует в пользу того, что все мыслимые разумные физические теории должны иметь именно тот статистический характер, о котором говорилось выше. Ниже я укажу причины, не позволяющие мне присоединиться к этому мнению, разделяемому почти всеми современными физиками-теоретиками. Я твердо убежден, что существенно статистический характер современной квантовой теории следует приписать исключительно тому, что эта теория оперирует с неполным описанием физических систем.

Вместе с тем у читателя не должно быть никаких сомнений относительно того, что я полностью признаю тот весьма значительный прогресс, который был достигнут теоретической физикой с помощью статистической квантовой теории. В области *механических* процессов, т. е. всюду, где взаимодействие различных структур и их частей можно с достаточной точностью рассматривать, постулируя существование потенциальной энергии взаимодействия между материальными точками, статистическая квантовая теория и поныне представляет собой замкнутую систему, правильно

¹ В. Паули. Вклад Эйнштейна в квантовую теорию. М. Борн. Статистические теории Эйнштейна. Г. Гайтлер. Отход от классического мышления в атомной физике. Н. Бор. Дискуссии с Эйнштейном по эпистемологическим проблемам в атомной физике. Г. Маргенау. Концепция реальности у Эйнштейна.

описывающую эмпирические соотношения между наблюдаемыми величинами и позволяющую теоретически предсказывать их значения. До сих пор эта теория является единственной теорией, логически удовлетворительно объединяющей дуальные (корпускулярные и волновые) свойства материи. Те (проверяемые) соотношения, которые содержатся в этой теории, являются *полными* в естественных пределах, определяемых соотношением неопределенностей. Формальные соотношения, содержащиеся в статистической квантовой теории, т. е. весь ее математический формализм, по-видимому, должны будут в будущем войти в форму логических выводов в любую разумную теорию.

Принципиально неудовлетворительным в этой теории, на мой взгляд, является ее отношение к тому, что я считаю высшей целью всей физики: полному описанию реального состояния произвольной системы (существующего, по предположению, независимо от акта наблюдения или существования наблюдателя). Если бы это рассуждение услышал склонный к позитивизму современный физик, она вызвала бы у него улыбку сожаления. Он бы сказал себе: «Здесь мы имеем дело с формулировкой в чистом виде некоего метафизического предрассудка, лишённого всякого содержания, преодоление которого было главным философским достижением физиков за последнюю четверть века. Воспринимал ли кто-нибудь «реальное состояние какой-нибудь физической системы»? Может ли вообще кто-нибудь утверждать, что он знает, что следует понимать под «реальным состоянием физической системы»? Как может разумный человек в наше время еще верить в то, что ему удастся отвергнуть наиболее существенную часть нашего знания с помощью такого бесплотного духа?» Терпение! Я отнюдь не считаю, что приведенная выше лаконическая формулировка может кого-нибудь убедить. Она должна была лишь указать ту точку зрения, вокруг которой будут свободно группироваться излагаемые ниже элементарные соображения. При этом я поступил следующим образом: сначала на нескольких простых примерах я покажу то, что представляется мне существенным, а затем по возможности кратко остановлюсь на более общих идеях, относящихся к этому же кругу вопросов.

В качестве физической системы рассмотрим сначала какой-нибудь радиоактивный атом с определенным средним временем жизни. Можно считать, что этот атом практически точно локализован в некотором месте в какой-то системе отсчета. Радиоактивный процесс состоит в испускании некоторой (сравнительно легкой) частицы. Для простоты мы будем пренебрегать движением атома, получающегося в результате радиоактивного распада. Следуя Гамову, мы можем заменить такой атом некоторой областью, размеры которой по порядку величины совпадают с размерами атома, окруженной замкнутым потенциальным барьером. В момент вре-

мени $t = 0$ эта область содержит испускаемую частицу. Известно, что схематизированный таким образом радиоактивный процесс с точки зрения элементарной квантовой механики должен описываться Ψ -функцией, зависящей от трех пространственных координат. При $t = 0$ эта функция отлична от нуля только внутри области, но при $t > 0$ имеет отличные от нуля значения и во внешнем пространстве. Эта Ψ -функция позволяет найти вероятность того, что испускаемая частица в некоторый выбранный момент времени действительно находится в той или иной рассматриваемой части пространства (т. е. действительно обнаружена там путем измерения координат). С другой стороны, Ψ -функция не позволяет ничего утверждать относительно момента распада радиоактивного атома.

Поставим теперь вопрос: можно ли такое теоретическое описание считать полным описанием радиоактивного распада одного отдельно взятого атома? Правдоподобный ответ, который сразу же приходит в голову, отрицателен. Такой ответ следует прежде всего потому, что принято считать, будто отдельный атом распадается в некоторый, вполне определенный момент времени; однако такая определенность момента распада не следует из описания процесса распада с помощью Ψ -функции. Следовательно, если отдельно взятый атом распадается в определенный момент времени, то описание процесса его распада с помощью Ψ -функции следует считать неполным. В этом случае Ψ -функцию следует рассматривать как описание не отдельной системы, а некоторого идеального ансамбля таких систем. Но в этом случае приходится признать, что полное описание отдельной системы все же возможно, но его нельзя достичь, если пользоваться только понятиями статистической квантовой теории.

Теоретик, занимающийся квантовой механикой, возразит на это: «Приведенное выше рассуждение эквивалентно утверждению о том, что такая вещь, как вполне определенный момент распада отдельного атома (т. е. момент времени, существующий независимо от какого бы то ни было наблюдения), действительно существует. Но, с моей точки зрения, это утверждение не только произвольно, но на самом деле лишено всякого смысла. Утверждение о существовании определенного момента распада имеет смысл лишь при условии, если я в принципе могу эмпирически определить этот момент времени. Такое определение (в конечном счете сводящееся к попытке доказать наличие частицы вне силового барьера) связано с некоторым возмущением рассматриваемой нами системы, вследствие чего результат измерения не позволит нам вывести никаких заключений о состоянии невозмущенной системы. Таким образом, предположение о том, что радиоактивный атом претерпевает распад во вполне определенный момент времени, ни на чем не основано. Следовательно, не доказано, и то, что Ψ -функцию нельзя рассматривать как полное описание отдельной системы. Все трудности происходят из того, что в качестве

«реального» постулируется нечто ненаблюдаемое». (Так ответил бы физик, стоящий на позициях квантовой механики.)

В аргументации подобного рода мне не нравится несостоятельная, на мой взгляд, основная позитивистская установка, которая, как мне кажется, совпадает с принципом Беркли «esse est percipi» («чувствую — значит существую»). «Сущее» всегда представляет собой некий продукт наших умозрительных построений и, следовательно, нечто, произвольно (в логическом смысле) созданное нами. Обоснование таких построений состоит не в том, что их выводят из данных нашего чувственного опыта. Такой вывод (в смысле логической выводимости) невозможен нигде и никогда, даже в области донаучного мышления. Обоснование таких построений, представляющих для нас «реальность», заключается лишь в том, насколько полно или неполно они позволяют нам понять данные чувственного опыта (смысл этого выражения из-за моего стремления к краткости придется оставить несколько туманным). В применении к конкретно выбранному нами примеру из этих рассуждений вытекает следующее.

Нельзя ставить вопрос так: «Существует ли вполне определенный момент времени распада отдельного атома?» Можно лишь спросить: «Разумно ли вводить существование определенного момента времени распада отдельного атома в наше теоретическое построение в целом?» Нельзя даже спрашивать, что *означает* это утверждение. Можно лишь задать вопрос о том, разумно ли такое утверждение или нет в рамках выбранной системы понятий, т. е. позволяет ли оно теоретически охватить эмпирические данные.

До тех пор, пока физик, стоящий на позициях квантовой механики, будет считать, что описание с помощью Ψ -функции относится к идеальному ансамблю систем, но никоим образом не к отдельной системе, он может спокойно считать, что распад радиоактивного атома происходит во вполне определенный момент времени. Но если он будет исходить из предположения о том, что принятое им описание с помощью Ψ -функции следует считать *полным* описанием отдельной системы, то от существования определенного момента распада ему придется отказаться. Он может с полным основанием указать на то, что определение момента распада для изолированной системы невозможно, поскольку это потребовало бы введения в систему таких возмущений, которыми нельзя было бы пренебречь при изучении ее состояния. Например, из утверждения о том, что распад уже произошел, нельзя было бы заключить, что распад произошел бы и в том случае, если бы таких возмущений системы не было.

Насколько мне известно, Э. Шредингер был первым, кто обратил внимание на несколько другой вариант этих рассуждений, в котором видна непригодность рассмотренной выше интерпретации. Вместо того чтобы рассматривать один изолированный радиоактивный атом (и процесс его

распада), рассматривают систему, в которой имеется какой-нибудь прибор для наблюдения за радиоактивным распадом, например счетчик Гейгера с механизмом автоматической регистрации. Предположим, что этот механизм состоит из бумажной ленты, протягиваемой часовым механизмом. При срабатывании счетчика на ленте делается отметка. Правда, с точки зрения квантовой механики вся эта система очень сложна, и размерность ее конфигурационного пространства очень велика, но в принципе нет возражений против того, чтобы рассматривать такую систему с точки зрения квантовой механики. И в этом случае теория также укажет для каждой конфигурации отвечающую ей вероятность для любого момента времени. Какую бы конфигурацию мы ни выбрали, на бумажной ленте ей должна соответствовать (самое большее) одна отметка, если только время наблюдения велико по сравнению со средним временем распада радиоактивного атома. Каждой конфигурации соответствует некоторое вполне определенное положение метки на бумажной ленте. Но поскольку теория дает лишь относительную вероятность мыслимых конфигураций, она точно так же дает лишь относительную вероятность различных положений метки на бумажной ленте, но отнюдь не указывает какое-то определенное положение этой метки.

В этих рассуждениях положение метки на ленте играет ту же роль, что и момент распада радиоактивного атома в приведенных выше рассуждениях. Причина, по которой мы стали рассматривать систему, снабженную регистрирующим механизмом, состоит в следующем. Положение метки на ленте регистрирующего механизма — это факт, целиком и полностью относящийся к сфере макроскопических понятий, в отличие от момента радиоактивного распада отдельного атома. Если мы примем, что квантово-механическое описание надлежит понимать как полное описание отдельно взятой системы, то нам придется признать, что положение метки на ленте никак не связано с самой системой и что наличие метки в том или ином месте существенно зависит от того, как проводилось наблюдение, зафиксированное на ленте. Разумеется, с чисто логической точки зрения такая интерпретация отнюдь не является абсурдной, и все же мало вероятно, чтобы кто-нибудь стал рассматривать ее всерьез. Всем ясно, что в сфере макроскопических явлений следует придерживаться программы реалистического описания их в пространстве и времени. Когда же речь идет о микроскопических явлениях, люди с большей готовностью склонны отказываться от этой программы или по крайней мере модифицировать ее.

Вся эта дискуссия понадобилась нам лишь для того, чтобы выяснить следующее. Пытаясь отстаивать тезис о том, что статистическая квантовая теория в принципе может давать полное описание отдельных физических систем, мы приходим к весьма неправдоподобным теоретическим

концепциям. С другой стороны, упомянутые выше трудности интерпретации теории исчезают, если квантово-теоретическое описание рассматривать как описание ансамблей систем.

К этому заключению меня привели соображения самого различного характера. Я убежден, что всякий, кто возьмет на себя труд добросовестно проследить за этими рассуждениями, будет вынужден в конце концов прийти именно к этой интерпретации квантово-теоретического описания (т. е. к интерпретации Ψ -функции как описания не отдельной системы, а ансамбля систем).

В общих чертах наше заключение сводится к следующему: в рамках статистической квантовой теории таких вещей, как полное описание отдельной системы, не существует. Более осторожно то же самое можно было бы сформулировать так. Пытаясь рассматривать квантово-теоретическое описание как полное описание отдельных систем, мы приходим к неестественной интерпретации теории. Если принять точку зрения, согласно которой такое описание относится к ансамблю систем, а не к отдельным системам, то необходимость в таких неестественных интерпретациях отпадает. В этом случае весь шум, поднятый для того, чтобы избежать «физической реальности», становится излишним. Существует, однако, простая психологическая причина, по которой эту почти очевидную интерпретацию до сих пор не принимали во внимание. Дело в том, что если статистическая квантовая теория не ставит перед собой задачи полного описания отдельной системы (и ее развития во времени), то такое описание, очевидно, приходится искать где-то еще. При этом с самого начала необходимо отдавать себе ясный отчет в том, что элементы полного описания не содержатся среди фундаментальных идей статистической квантовой теории. Отсюда следует, что эти идеи принципиально не могут служить основой всей теоретической физики в целом. В будущей физике (при условии, если попытки построить полное описание физической системы увенчаются успехом) статистическая квантовая теория будет занимать примерно такое же положение, какое занимает статистическая механика в рамках классической механики. Я твердо убежден, что развитие теоретической физики будет происходить именно так, но путь ее будет долгим и трудным.

Я мысленно представляю себе физика, занимающегося квантовой теорией, который, даже допуская, что квантово-теоретическое описание относится к ансамблям систем, а не к отдельным системам, тем не менее склонен думать, что особенности, присущие квантово-теоретическому описанию, в наиболее существенных чертах сохраняются и в будущем. Он мог бы рассуждать так: «Я допускаю, что квантово-теоретическое описание является неполным описанием отдельной системы. Я даже допускаю, что полное теоретическое описание принципиально возможно. Тем не менее я считаю, что бесцельность поисков такого полного описания доказана,

ибо законы природы таковы, что их адекватную и полную формулировку можно дать в рамках нашего неполного описания».

На это я могу ответить лишь следующее. Ваша точка зрения, если рассматривать ее как теоретически возможную, неуязвима. Все же мне кажется более естественным ожидать, что адекватная формулировка универсальных законов будет включать в себя все элементарные понятия, необходимые для полного описания. Кроме того, я не считаю достойным удивления тот факт, что, пользуясь неполным описанием, мы можем получить из него (в основном) одни лишь статистические утверждения. Если нам удастся продвинуться вперед на пути к полному описанию, то весьма вероятно, что законы, выражающие отношения между всеми элементарными понятиями, используемыми в таком описании, сами по себе не будут иметь ничего общего со статистикой.

Еще несколько общих замечаний относительно того, что представляют собой понятия. Существует подозрение, что понятие (например, понятие реальности) — это нечто метафизическое (и, в силу этого, его следует отвергнуть). Основным принципиальным различием, являющимся необходимой предпосылкой научного и донаучного мышления, является различие между «чувственными восприятиями» (и воспоминаниями о них), с одной стороны, и чистыми идеями — с другой. Чисто логического определения этого различия не существует (если не считать определений, основанных на использовании порочного круга, т. е. таких определений, в которых неявно используется сам определяемый объект). Точно так же нельзя считать, что это различие обусловлено существованием каких-то объективных данных, например таких, которые обуславливают различие между красным цветом и голубым. И все же такое различие необходимо, чтобы не впасть в солипсизм. Выход из создавшегося затруднения состоит в следующем: мы воспользуемся этим различием, несмотря на упреки в том, что поступая так, мы совершаем метафизический «первородный грех». Указанное различие мы рассматриваем как категорию, позволяющую нам лучше разобраться в мире непосредственных ощущений. Успех этого предприятия и является «смыслом» и обоснованием этого различия. Но это лишь первый шаг. Мы считаем, что чувственные восприятия обусловлены «объективным» и «субъективным» факторами. Различие между этими понятиями также не имеет логико-философского обоснования, но, отвергнув его, мы не сможем избежать солипсизма. Это различие также является предпосылкой любой разновидности физического мышления. В этом случае единственным обоснованием указанного различия также является его полезность. И в первом, и во втором случае мы сталкиваемся с «категориями», или схемами мышления, выбор которых в принципе находится всецело в наших руках. О пригодности этих категорий можно судить лишь по тому, насколько «понятной» делают они всю совокупность

идей и понятий, с которыми оперирует наше сознание. Упомянутый выше «объективный фактор» представляет собой совокупность таких идей и понятий, которые, по предположению, существуют независимо от нашего опыта, т. е. от чувственных восприятий. До тех пор, пока наше мышление не выходит за пределы сферы, ограниченной намеченной только что программой, мы мыслим физически. До тех пор, пока физическое мышление доказывает свою обоснованность в указанном выше смысле, позволяя мысленно охватить все данные чувственного опыта, мы считаем его «познанием реальности».

После сказанного «реальность» в физике следует считать своего рода программой. Ничто не заставляет нас придерживаться этой программы априори. По-видимому, никому не придет в голову отказываться от этой программы, если речь пойдет о «макроскопических» явлениях (положение метки на бумажной ленте «реально»). Но «макроскопический» и «микроскопический» аспекты настолько тесно переплетены между собой, что вряд ли стоит отказываться от этой программы и при рассмотрении одних лишь «микроскопических» явлений. Не вижу я повода для отказа от этой программы и в области наблюдаемых фактов квантовой теории, если, разумеется, не утверждать заранее, что описание природы с помощью статистической схемы квантовой механики является окончательным.

Защищаемая здесь точка зрения отличается от точки зрения Канта лишь тем, что мы не считаем «категории» неизменяемыми (обусловленными природой мышления), а считаем их свободными (в логическом смысле) соглашениями. Априорными они кажутся лишь потому, что мыслить, не прибегая к понятиям и категориям, было бы так же невозможно, как дышать в безвоздушном пространстве.

Из этих скупых замечаний видно, что я считаю неправильным, если теоретическое описание ставится в непосредственную зависимость от актов эмпирических наблюдений. Тенденцию к подобному подходу можно, например, усмотреть в принципе дополнительности Бора, точную формулировку которого я так и не смог получить, несмотря на все мои усилия. Я считаю, что наблюдения могут служить лишь особыми случаями, или составными частями, физического описания, когда нельзя указать никакого выделенного состояния, кроме состояния покоя.

Статьи Бора и Паули, о которых я уже упоминал выше, содержат историческую оценку моих работ по физической статистике и квантам и, кроме того, некое обвинение, высказанное самым дружеским тоном. Кратко его можно было бы сформулировать так: «Ярая приверженность классической теории». С моей стороны такое обвинение требует либо оправданий, либо признания своей вины. Сделать и то и другое весьма трудно, поскольку совершенно неясно, что имеется в виду под «классической теорией». Ньютонская теория заслуживает названия классической. Тем

не менее от нее пришлось отказаться после того, как Максвелл и Герц показали, что идею о силах, действующих на расстоянии, необходимо оставить и что нельзя обойтись без понятия непрерывных «полей». Вскоре представление о том, что непрерывные поля следует считать единственно приемлемыми основными понятиями, которые и должны быть положены в основу теории материальных частиц, победило. В наше время эта концепция стала, так сказать, «классической», но теория в собственном смысле этого слова (причем в принципе полная) выросла не из нее. Максвелловская теория электромагнитного поля оставалась незавершенной, ибо она была неспособна установить законы распределения плотности электрического заряда, без которых, разумеется, не могло быть такой вещи, как электромагнитное поле. Точно так же общая теория относительности впоследствии привела к созданию теории гравитационного поля, но не к теории масс, создающих это поле.

(В этих замечаниях предполагается само собой разумеющимся, что в теории поля не должно быть никаких сингулярностей, т. е. таких точек или областей пространства, в которых законы этой теории не были бы справедливы.)

Итак, на сегодня таких вещей, как классическая теория поля, строго говоря, не существует, и поэтому невозможно быть ее ярым приверженцем. Тем не менее теория поля существует как программа: «основными понятиями теории должны быть непрерывные функции, определенные в четырехмерном континууме». Меня с полным правом можно назвать непоколебимым сторонником этой программы. Более глубокая причина этого состоит в следующем. Занимаясь теорией гравитации, я увидел, что существование взаимодействия между различными структурами (локализованными объектами) является общим следствием нелинейности уравнений этой теории. Но любая попытка теоретического вывода нелинейных уравнений становится совершенно безнадежной (ибо число имеющихся здесь возможностей слишком велико), если не прибегать к общему принципу относительности (инвариантность относительно произвольных непрерывных преобразований координат). Однако в настоящее время, по-видимому, невозможно сформулировать этот принцип, если пытаться отойти от намеченной выше программы. Именно здесь то, что заставляет меня следовать ей, и от этого я отказаться не могу. В этом мое оправдание.

Свое оправдание мне все же придется ослабить следующим признанием. Если оставить в стороне квантовую структуру, то введение g_{ik} можно обосновать «операционалистским путем», указав на то, что вряд ли можно сомневаться в физической реальности элементарного светового конуса, принадлежащего некоторой точке. При этом неявно используется существование сколь угодно точного оптического сигнала. Если же принять во

внимание квантовые явления, то окажется, что такой сигнал содержит бесконечно большие частоты и энергии и, следовательно, приводит к полному разрушению наблюдаемого поля. Итак, если не ограничиваться «макроскопическими» явлениями, то такой способ физического обоснования причин, которым вводится g_{ik} , отпадает. Следовательно, применение формальных основ общей теории относительности к «макроскопическим» явлениям можно обосновывать лишь тем, что формально тензор g_{ik} является наиболее простой ковариантной структурой из числа рассматриваемых. Однако такая аргументация не имеет никакого веса в глазах тех, кто сомневается в том, что вообще следует настаивать на введении непрерывных полей. Честь и хвала подобным сомнениям, но где еще нам найти путь, ведущий хоть к каким-нибудь результатам?

Теперь я перехожу к вопросу об отношении теории относительности к философии. Сюда относится статья Рейхенбаха, которая логичностью своих выводов и точностью формулировок настоятельно требует хотя бы кратко го комментария. Ясно написанная статья Робертсона также представляет интерес, главным образом с общепhilosophической точки зрения, хотя она и ограничена более узкой темой («Теория относительности и геометрия»). На вопрос: «Считаете ли Вы истинной то, что утверждает Рейхенбах?» — я могу лишь ответить знаменитым вопросом Пилата: «А что такое истина?»

Рассмотрим прежде всего вопрос: «Можно ли проверить (или опровергнуть) на практике геометрию, рассматриваемую с точки зрения физики?» Рейхенбах вместе с Гельмгольцем отвечают: «Да, если эмпирически данные твердые тела реализуют понятия „расстояния“». Пуанкаре считает, что этого сделать нельзя, и поэтому его взгляды не встречают одобрения со стороны Рейхенбаха. Происходит следующий краткий разговор.

Пуанкаре. Эмпирически данные тела не являются абсолютно твердыми и, следовательно, не могут служить реализацией геометрических отрезков. Поэтому теоремы геометрии нельзя проверить на практике.

Рейхенбах. Я допускаю, что тел, которые могли бы сами по себе служить «реальным определением» отрезка, не существует. Тем не менее, такое реальное определение можно получить, приняв во внимание тепловое расширение, упругость, электро- и магнитострикцию и т. д. То, что это на самом деле возможно и не приводит к противоречиям, доказано классической физикой.

Пуанкаре. При построении улучшенного реального определения Вы воспользовались физическими законами, формулировка которых (в этом случае) предполагает евклидову геометрию. Следовательно, проверка, о которой Вы говорили, относится не только к геометрии, но и ко всей совокупности физических законов, лежащих в ее основе. Отсюда следует, что проверка одной лишь геометрии невозможна.

Но тогда почему бы мне не выбирать геометрию (например, евклидову), руководствуясь исключительно соображениями собственного удобства, а остальные («физические» в обычном смысле) законы не подгонять к выбранной геометрии так, чтобы вся система в целом не противоречила опыту?

(Уважение, внушаемое автору этих строк превосходством Пуанкаре как мыслителя, и признание достоинств его литературного стиля не позволяют продолжать этот спор в том же духе. Поэтому далее вместо Пуанкаре будет фигурировать некий анонимный неопозитивист.)

Рейхенбах. В высказанной концепции имеется нечто весьма привлекательное. С другой стороны, следует отметить, что признание объективного смысла длины и интерпретация разностей координат как расстояний не приводили ни к каким осложнениям (в дорелятивистской физике), если только речь не шла о тех явлениях, в которых существенную роль играют скорости, сравнимые со скоростью света. Разве этот удивительный факт не свидетельствует в пользу того, что мы и впредь можем с полным основанием оперировать понятием измерения длины так, будто такие вещи, как абсолютно твердые измерительные стержни, существуют (по крайней мере, можно попытаться поступать именно так)? Во всяком случае Эйнштейн *de facto* (а может быть и вообще) не смог бы построить общую теорию относительности, если бы не считал, что длина имеет объективный смысл.

Нельзя не отметить (и это также свидетельствует против точки зрения Пуанкаре), что в действительности существенно не то, что одна лишь геометрия устроена наиболее простым образом, а то, что наиболее простым образом устроена вся физика (и в том числе геометрия). Именно этим прежде всего объясняется тот факт, что в настоящее время мы должны отклонять как неприемлемое предложение о том, чтобы ограничить свои рассуждения только евклидовой геометрией.

Неопозитивист. Если в силу изложенных выше обстоятельств Вы считаете понятие расстояния вполне законным, то как в таком случае обстоит дело с вашим основным принципом (имеет смысл = проверяемо на опыте)? Разве Вы не дошли до такого момента, когда Вам приходится считать, что геометрические понятия и теоремы не имеют смысла, и признавать имеющей смысл лишь законченную (хотя и не существующую еще в завершенном виде) теорию относительности? Разве Вы не должны считать, что с Вашей точки зрения отдельные понятия и утверждения физической теории вообще нельзя придать никакого «смысла», кроме того, что вся эта теория делает «более понятным» данные чувственного опыта? Вообще, для чего требовать обоснования отдельных понятий, входящих в какую-нибудь теорию, если они являются необходимыми лишь в рамках логической структуры теории, а сама теория в целом подтверждается?

Кроме того, мне кажется, что Вы не вполне оценили действительно выдающиеся философские достижения Канта. У Юма Кант узнал, что существуют понятия (например, понятие причинной связи), которые играют главную роль в нашем мышлении и тем не менее не могут быть выведены чисто логическим путем из эмпирических данных (факт, который признавали некоторые эмпирики, впоследствии, по-видимому, всегда забывавшие об этом). Что же служит обоснованием для использования таких понятий? Предположим, что ответ Канта гласит следующее: «Чтобы понять эмпирические данные, необходимо мышление. *Понятия и „категории“ необходимы, ибо являются неотделимыми элементами мышления*». Если бы он удовлетворился таким ответом, то избежал бы скептицизма, и Вы не смогли бы его ни в чем упрекнуть. На самом же деле он был введен в заблуждение ошибочным мнением (во времена Канта трудно было избежать этого мнения), будто эвклидова геометрия необходима для мышления и дает *достоверное* (т. е. не зависящее от чувственного опыта) знание относительно объектов «внешнего» воспринимаемого мира. Из этой ошибки, которую нетрудно понять, он сделал вывод о существовании синтетических априорных суждений, диктуемых одним лишь разумом и претендующих, следовательно, на абсолютную значимость. Думаю, что Ваши упреки направлены не столько в адрес самого Канта, сколько тем, кто и поныне разделяет ошибки «синтетического априорного суждения».

Я считаю, что трудно найти какую-нибудь другую тему, которая могла бы послужить лучшей основой для обсуждения на философском семинаре, чем эта краткая статья Рейхенбаха. (Лучше всего рассматривать ее вместе со статьей Робертсона².)

Сказанное имеет непосредственное отношение и к статье Бриджмена³; поэтому я лишь кратко остановлюсь на ней, не боясь, что меня могут понять неправильно. Для того, чтобы какую-нибудь логическую систему можно было считать *физической* теорией, необходимо потребовать, чтобы все ее утверждения можно было независимо интерпретировать и «операционалистски» «проверять». В действительности же еще ни одна теория не смогла удовлетворить этим требованиям, и им вообще невозможно удовлетворить. Для того чтобы какую-нибудь теорию можно было считать *физической* теорией, необходимо лишь, чтобы вытекающие из нее утверждения в принципе допускали эмпирическую проверку.

Эта формулировка пока что является совершенно неточной, ибо «опытная проверка» является свойством, относящимся не только к самому утверждению, о котором идет речь, но и к отношению входящих в это утверждение понятий к опыту. По-видимому, вряд ли есть необходимость

² Г. Робертсон. Геометрия как раздел физики.

³ П. Бриджмен. Теория Эйнштейна и операциональная точка зрения.

вдаваться в обсуждение столь деликатной проблемы, ибо по этому вопросу не должно быть сколько-нибудь существенного расхождения во мнениях.

Статья Маргенау содержит несколько оригинальных замечаний, которые я должен рассматривать в отдельности.

К ее разделу 1. «Позиция Эйнштейна... несет в себе черты рационализма и крайнего эмпиризма». Это замечание вполне справедливо. Откуда берутся такие колебания? Логическая система понятий является физикой лишь постольку, поскольку ее понятия и суждения приведены в необходимое соответствие с миром чувственного опыта. Всякий, кто пытается создать такую систему, наталкивается на опасное препятствие в виде произвольного выбора основных понятий (*embarras de richesses*) (затруднение от избытка. — *Ред.*). Вот почему он пытается связать, насколько это возможно и нужно, непосредственно понятия с миром чувственного опыта. В этом случае его подход становится эмпирическим. Такой путь часто бывает плодотворным, но всегда остаются некоторые сомнения, поскольку конкретное понятие и отдельное суждение все же могут утверждать нечто, противоречащее эмпирическим данным лишь при условии, если это понятие и суждение рассматриваются в связи со всей системой в целом. Кроме того, создатель теории осознает, что логического пути от эмпирических данных к миру его понятий не существует. Тогда его подход становится более реалистическим, ибо он начинает сознавать логическую независимость построенной им системы. Опасность такого подхода кроется в том, что, пытаясь построить теорию, можно потерять всякий контакт с миром чувственного опыта. Колебания между этими двумя крайностями представляются мне неизбежными.

К ее разделу 2. Идеи Канта я воспринял не сразу. То действительно ценное, что наряду с совершенно очевидными ныне ошибками содержится в его учении, стало мне понятно лишь очень поздно. Сущность идей Канта можно было бы сформулировать так: «Реальность не дана нам, а задана (так же, как задают загадки)». Очевидно, это означает следующее: понять то, что происходит вне нас, можно с помощью построения понятий, значимость которых целиком основана на их подтверждении. Такое построение понятий (по определению) точно соответствует «действительности», и любой дальнейший вопрос о «природе действительности» является бессмысленным.

К ее разделу 4. Рассуждения этого раздела ничуть не убедили меня. Само собой разумеется, что каждая величина и каждое утверждение некоторой теории (в рамках этой теории) претендуют на «объективный смысл». Проблема возникает лишь тогда, когда мы пытаемся приписывать теории некие групповые свойства, т. е. когда мы предполагаем или постулируем, что одна и та же физическая ситуация допускает несколько

способов описания, каждый из которых в равной степени следует считать обоснованным. При этом отдельным (не исключаемым) величинам (например, x -компоненте скорости частицы или ее координате x) мы уже не можем приписать никакого объективного смысла. В этом случае, всегда имеющем место в физике, нам приходится ограничиваться приписыванием объективного смысла общим законам теории, т. е. приходится требовать, чтобы эти законы выполнялись для любого описания системы, в основу которого положены групповые свойства. Поэтому неверно, будто «объективность» предполагает групповые свойства. Наоборот, групповые свойства приводят к уточнению понятия объективности. С эвристической точки зрения введение в рассмотрение групповых свойств столь важно потому, что позволяет существенно ограничить разнообразие математически допустимых законов.

Далее следует утверждение о том, будто групповые свойства означают, что общие законы должны иметь форму дифференциальных уравнений. Этого я вообще не могу понять. Затем Маргенау утверждает, что законы выражаемые дифференциальными уравнениями (в особенности дифференциальными уравнениями с частными производными), являются наименее характерными. На чем он основывает свое утверждение? Если бы можно было доказать, что эти утверждения правильны, то это означало бы, что всякая попытка построить физику на основе дифференциальных уравнений совершенно безнадежна. Однако нам еще многого не хватает, чтобы мы могли судить о том, обладают ли вообще дифференциальные уравнения, которые мы и должны изучить, решениями, которые всюду не имеют особенностей, и если да, то не будет ли этих решений слишком много.

Сделаю одно замечание по поводу обсуждения парадокса Эйнштейна — Подольского — Розена⁴. Мне кажется, что Маргенау, защищая «ортодоксальную» (эпитет «ортодоксальный» относится к тезису о том, что Ψ -функция *исчерпывающим* образом характеризует отдельную систему) позицию в квантовой теории, не затронул наиболее существенных моментов. Из всех теоретиков, стоящих на «ортодоксальной» позиции в квантовой теории, чья точка зрения мне известна, Нильс Бор занимает позицию, ближе всего отвечающую существу проблемы. В моем пересказе его рассуждения выглядят следующим образом.

Если подсистемы A и B образуют некоторую общую систему, описываемую своей Ψ -функцией (обозначим ее Ψ_{AB}), то нет никаких оснований для того, чтобы считать, будто каждая из подсистем A и B в отдельности существует (находится в реальном состоянии) независимо от другой *даже в том случае, если в рассматриваемый момент времени подсистемы пространственно разделены*. Поэтому утверждение о том, что в последнем слу-

⁴ Ср. статью 76, том III.— *Прим. ред.*

чае любое измерение, производимое над подсистемой A , не оказывает никакого (непосредственного) влияния на реальное состояние подсистемы B , в рамках квантовой теории ни на чем не основано и (как показывает парадокс) является неприемлемым.

При таком подходе становится ясно, что упоминавшийся выше парадокс вынуждает нас отказаться от одного из следующих двух утверждений:

- 1) описание с помощью Ψ -функции является *полным*;
- 2) реальные состояния пространственно разделенных объектов не зависят друг от друга.

С другой стороны, можно придерживаться утверждения (2), если считать, что Ψ -функция описывает (статистический) ансамбль систем и тем самым отвергнуть утверждение (1)]. Однако эта точка зрения выходит за рамки «ортодоксальной квантовой теории».

Еще одно замечание к разделу 7 статьи Маргенау. Характеризуя квантовую механику, он среди прочего произносит одну короткую фразу: «В классической механике это соответствует обычной динамике». Такое утверждение абсолютно правильно *cum grano salis*⁵, и именно эта *grano salis* является наиболее существенной для проблемы интерпретации.

Если речь идет о макроскопических телах (бильярдных шарах или звездах), то мы имеем дело с очень короткими волнами де Бройля, которые и определяют поведение центра тяжести таких тел. Именно этим объясняется, почему при рассмотрении макроскопических тел квантовомеханическое описание позволяет для разумного интервала времени с достаточной точностью определять не только положение тела, но и его импульс. Квантовая теория позволяет получать точные положения и импульсы тела в течение довольно большого промежутка времени, причем квазиточки, фигурирующие в квантовомеханическом описании, ведут себя так же, как материальные точки в классической механике. Однако теория показывает, что по истечении достаточно большого промежутка времени точечный характер Ψ -функции, описывающей поведение центра тяжести, полностью утрачивается, так что ни с какой квазилокализации центра тяжести после этого говорить уже нельзя. Для одной макроскопической материальной точки картина становится очень похожей на ту, которая наблюдается в случае одного свободного электрона.

Если теперь, в соответствии с ортодоксальной точкой зрения, я буду рассматривать Ψ -функцию как полное описание реального состояния для отдельного тела, то мне придется считать, что принципиально сколь угодно большая неточность в определении положения (макроскопического) тела носит *реальный* характер. Однако, с другой стороны, известно, что,

⁵ Буквально «с крупинкой соли» — с оговоркой.— *Прим. ред.*

освещая тело фонарем, находящимся в состоянии покоя относительно нашей системы координат, мы (макроскопически) точно определяем положение этого тела. Чтобы избежать противоречия, я должен предположить, что найденное нами точное положение тела определяется не только реальным состоянием тела, над которым производились наблюдения, но и актом его освещения. Мы снова сталкиваемся с парадоксом (подобно тому, как это было бы в рассмотренном выше примере с отметкой на бумажной ленте). Этот призрак исчезнет лишь в том случае, если мы откажемся от ортодоксальной точки зрения, согласно которой считается, что Ψ -функция дает полное описание отдельной системы.

Может показаться, что все эти рассуждения представляют собой излишнее ученую казуистику, не имеющую ничего общего с настоящей физикой. Однако именно от таких рассуждений зависит, в каком направлении следует искать понятия для построения основ физики будущего.

Наше обсуждение проблем, связанных с истолкованием квантовой теории, слишком затянулось. В заключение я воспроизведу разговор, который я имел с одним видным физиком-теоретиком.

Он: Я склонен верить в телепатию.

Я: По-видимому, она больше относится к физике, чем к психологии.

Он: Да.

В статьях Ленцена и Нортропа⁶ предпринята попытка систематически рассмотреть мои высказывания философского характера, сделанные по различным поводам. Из этих высказываний Ленцен тщательно и с тонким чувством меры воссоздает некую общую картину. Все, что говорится в этой статье, кажется мне правильным и убедительным. Те же высказывания послужили Нортропу отправной точкой для критического сравнения главных философских систем. Эту критику я считаю шедевром непредубежденного мышления и точного изложения, автор которого нигде не позволяет себе уклониться от самого существенного.

Замечательный характер имеет взаимосвязь, существующая между наукой и теорией познания. Они зависят друг от друга. Теория познания без соприкосновения с наукой вырождается в пустую схему. Наука без теории познания (насколько это вообще мыслимо) становится примитивной и путаной. Однако, если философу, занимающемуся поисками стройной системы, удастся разработать такую систему, он тотчас же начинает интерпретировать содержание науки в духе своей системы и отвергать все, что выходит за рамки этой системы. Ученый же не может позволить себе зайти столь далеко в своем стремлении к теоретико-познавательной систематике. Он с благодарностью принимает гносеологический анализ по-

⁶ В. Л е н ц е н. Эйнштейновская теория познания. Ф. Н о р т р о п. Эйнштейновская концепция науки.

нятий, по внешние условия, поставленные перед ним опытными фактами, не позволяют ему чрезмерно ограничивать себя принадлежностью к некоторой философской системе при построении понятий. Поэтому в глазах последовательно мыслящего философа он предстает как оппортунист, бросающийся из одной крайности в другую. Как человек, пытающийся описать мир, не зависящий от актов восприятия, он кажется *реалистом*. Как человек, считающий понятия и теории свободными (не выводимыми логическим путем из эмпирических данных) творениями человеческого разума, он кажется *идеалистом*. Как человек, считающий свои понятия и теории обоснованными *лишь* в той степени, в которой они позволяют логически интерпретировать соотношения между чувственными восприятиями, он является *позитивистом*. Он может показаться точно так же и *платонистом* и *пифагорейцем*, ибо он считает логическую простоту непреложным и эффективным средством своих исследований.

Все это очень ясно показано в статьях Ленцена и Нортропа.

Несколько замечаний по поводу статей Е. А. Милна, Г. Леметра и Л. Инфельда ⁷ относительно космологической проблемы.

По поводу остроумных рассуждений Милна я могу лишь сказать, что нахожу их теоретическую основу слишком узкой. С моей точки зрения, в области космологии нельзя получить никаких хоть сколько-нибудь надежных результатов с помощью теории, если не пользоваться общим принципом относительности.

Что же касается приводимых Леметром аргументов в пользу так называемого «космологического члена» в уравнениях гравитации, то я должен заметить, что при нынешнем уровне наших знаний эти аргументы не кажутся мне достаточно убедительными.

Введение такого члена означает далеко идущий отказ от логической простоты теории, отказ, который, на мой взгляд, был бы неизбежным лишь в том случае, если бы не было причин сомневаться в существенно статической природе пространства. После открытия Хэбблом «расширения» звездной системы и после того, как Фридман показал, что из уравнений без космологического члена вытекает возможность существования средней (положительной) плотности материи в расширяющейся Вселенной, мне кажется, что с теоретической точки зрения введение такого члена в настоящее время необоснованно.

Ситуация усложняется тем, что полная продолжительность расширения пространства до настоящего времени, если исходить из уравнений, взятых в простейшем виде, оказывается меньше, чем можно было бы

⁷ Е. М и л н. Гравитация без общей относительности. Г. Л е м е т р. Космологическая постоянная. Л. И н ф е л ь д. Общая теория относительности и строение нашей Вселенной.

думать, если принять во внимание достаточно надежно установленный возраст земных минералов. Введение же «космологического члена» не дает никакого выхода из создавшегося затруднения. Это затруднение, возникающее из-за несоответствия между численным значением постоянной расширения Хаббла и измерениями возраста минералов, совершенно не связано с какой бы то ни было космологической теорией, если эффект Хаббла интерпретировать как эффект Доплера.

В конечном счете все зависит от вопроса, можно ли рассматривать спектральную линию как меру «собственного времени» ds ($ds^2 = g_{ik} dx_i dx_k$), если речь идет об областях космических размеров? Существует ли вообще в природе объект, который независимо от своего положения в четырехмерном пространстве может служить «естественным измерительным стержнем»? Утвердительный ответ на этот вопрос сделал *психологически* возможным создание общей теории относительности, однако логически это предположение не является необходимым. Для построения современной теории относительности существенно следующее.

1. Физические объекты описываются непрерывными функциями — параметрами поля, зависящими от четырех координат. Если топологическая связность не нарушается, то выбор этих координат произволен.

2. Переменные поля являются компонентами тензора. Среди этих тензоров имеется симметрический тензор g_{ik} для описания гравитационного поля.

3. Существуют физические объекты, которые (если рассматривать их макроскопически) служат мерой инварианта ds .

Если принять утверждения (1) и (2), то утверждение (3) будет правдоподобным, но не будет необходимым. Построение математической теории основано исключительно на предположениях (1) и (2).

Полной теории всей физики в целом, построенной в соответствии с предположениями (1) и (2), еще не существует. Если бы такая теория существовала, то необходимость в (3) отпала бы, ибо объекты, используемые в качестве измерительных средств, не могут самостоятельно существовать наряду с объектами, существование которых вытекает из уравнений поля. Однако при рассмотрении космологических проблем не следует ограничивать себя обязательно столь скептическим отношением, но не следует с самого начала закрывать на это глаза.

Эти соображения приводят меня к статье Карла Менгера⁸. Рассматривая квантовые явления, мы начинаем подозревать, что могут появиться сомнения в окончательной целесообразности программы, коротко характеризуемой предположениями (1) и (2). Можно усомниться только в предположении (2) и, таким образом, поставить вопрос о том, нельзя ли адек-

⁸ К. Менгер. Современная геометрия и теория относительности.

внятно сформулировать законы с помощью дифференциальных уравнений, не отбрасывая утверждения (1). Мне кажется (думаю, что мою точку зрения разделяет и д-р Менгер), что еще проще предпринять более радикальную попытку и отказаться от предположений (1) и (2). Если нет новых понятий, обладающих достаточной созидательной силой, приходится довольствоваться одними лишь сомнениями. К сожалению, так происходит и со мной. Я придерживаюсь представлений о непрерывном характере поля не потому, что исхожу из некоторого предрассудка, а потому, что не могу придумать ничего такого, что могло бы органически заменить эти представления. Каким образом следует сохранить наиболее существенные черты четырехмерности (хотя бы в некотором приближении), если отказаться от представлений о непрерывности?

Статья Л. Инфельда представляет собой превосходное введение в так называемую «космологическую проблему» теории относительности, в которой критически разобраны все существенные моменты. Статья написана доступно, и для ее понимания нет необходимости обращаться к другой литературе.

Макс фон Лауэ⁹ дал исторический обзор развития законов сохранения, имеющих, на мой взгляд, непреходящее значение. Думаю, что эту статью следовало бы издать в виде отдельной брошюры, чтобы сделать ее более доступной для студентов,

Статью Г. Дингла¹⁰ и даже те цели, которые ставил перед собой ее автор, мне не удалось понять полностью, хотя я и приложил к этому значительные усилия. Следует ли обобщить идею специальной теории относительности в том смысле, чтобы потребовать новые групповые свойства, вытекающие из лоренц-инвариантности? Существуют ли эмпирические основания для введения таких постулатов или же их следует «вводить» лишь как попытку? На чем покоится уверенность в существовании таких групповых свойств?

Я считаю, что статья Курта Гёделя¹¹ представляет собой важный вклад в общую теорию относительности, в особенности в анализ понятия времени. Проблема, о которой идет речь, беспокоила меня еще во времена создания общей теории относительности, но решить ее мне так и не удалось. Если оставить в стороне отношение теории относительности к идеалистической философии и вообще к любой философской постановке проблем, то эту проблему можно было бы сформулировать следующим образом.

⁹ М. Л а у э. Инерция и энергия.

¹⁰ Г. Д и н г л. Научные и философские следствия специальной теории относительности.

¹¹ К. Г е д е л ь. Замечание о связи между теорией относительности и идеалистической философией.

Если P — мировая точка, то ей соответствует «световой конус» ($ds^2 = 0$). Проведем через P «временноподобную» прямую и рассмотрим на ней близкие мировые точки B и A , разделенные мировой точкой P (см. рис. 1). Имеет ли смысл вводить на этой прямой ориентацию (указанную стрелкой) и утверждать, что B происходит до P , а A — после P ? Является ли то, что остается от временных связей между мировыми точками в теории относительности, асимметричным отношением, или же, с физической точки зрения, с тем же основанием можно было бы изменить направление стрелки на обратное и утверждать, что A происходит до P , а B — после P ?

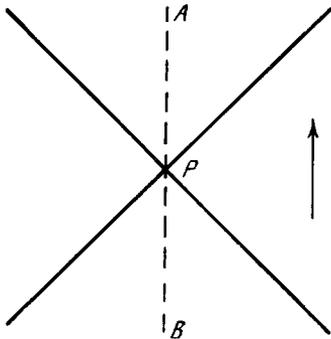


Рис. 1

На первый взгляд кажется, что от второй альтернативы следует отказаться. Мы можем рассуждать так. Если из B в A можно послать (протелеграфировать) сигнал (проходящий в непосредственной близости от мировой точки P), а из A в B послать сигнал нельзя, то тем самым будет установлен односторонний (т. е. асимметричный)

характер направления времени, т. е. для направления стрелки не будет свободы выбора.

Здесь существенно, что посылка сигнала является *необратимым* (в смысле термодинамики) процессом, связанным с возрастанием энтропии (в то время как, согласно нашим современным представлениям, все элементарные процессы обратимы).

Следовательно, если B и A являются двумя достаточно близкими мировыми точками, которые можно соединить временноподобной линией, то высказывание « B происходит до A » имеет объективный физический смысл. Имеет ли это высказывание смысл в том случае, если точки, соединенные временноподобной линией, сколь угодно далеко удалены друг от друга? Разумеется, нет, если имеется набор точек, соединенных между собой временноподобными линиями так, что каждая мировая точка предшествует по времени предыдущей точке, и если вся цепочка точек замыкается. В этом случае различие между «раньше» и «позже» для мировых точек, удаленных друг от друга на космические расстояния, исчезает, и возникают те парадоксы, связанные с направлением причинной связи, о которых говорил Гёдель.

Гёдель нашел такие космологические решения уравнений гравитации (с отличной от нуля Λ). Было бы интересно выяснить, не следует ли такие решения исключать из рассмотрения на основе физических соображений.

* * *

С чувством разочарования я вижу, что, отвечая на критику, я высказывался не только длинно, но и излишне резко. Следующее замечание должно послужить извинением: ссориться можно только с братьями или близкими друзьями; все остальные для этого слишком чужие.

Настоящие замечания относятся к тем статьям, которые попали мне в руки до конца января 1949 г. Поскольку весь том должен был выйти из печати в марте 1949 г., времени на то, чтобы письменно изложить эти соображения, оставалось в обрез.

После того как работа была закончена, я узнал, что публикация тома на некоторое время откладывается. К этому времени пришло еще несколько важных статей. Несмотря на это, я решил не увеличивать и без того слишком большого объема своих заметок и воздержаться от высказывания своего мнения по поводу тех статей, которые были получены уже после написания этих заметок.

В конце 1949 г. вышел том серии «Живущие философы», посвященный 70-летию со дня рождения Эйнштейна. (Он должен был выйти в марте, но задержался.) В этом томе было помещено 25 статей о работах и взглядах Эйнштейна. Том открывается «Автобиографическими заметками» (статья 76) и закрывается статьей самого Эйнштейна, в которой он отвечает авторам 17 статей. К тому приложена подробная библиография трудов Эйнштейна, составленная Маргарет Шильдс (доведена во 2-м издании тома до 1951 г.). Из статей этого тома в русском переводе появились статьи Бора (в сб. Н. Бор. «Атомная физика и человеческое познание») и статья Борна (в кн. М. Борн. «Физика в жизни моего поколения». М., 1963). Статья Паули будет помещена в собрании его научных трудов, издаваемых в серии «Классика науки». Статья Лауэ входит в сборник его избранных работ, выходящий в издательстве «Наука».