

Теория относительности и релятивизм¹⁾).

Э. Вихерт.

Предисловие

Статья Вихерта—извлечение из его популярно-научной монографии «Механика в рамках общей физики», помещенной в сборнике «Физика» (1-й том серии «Die Kultur der Gegenwart», изд. 1925 г.). Вихерт, как это хорошо видно из его формулировок, дает критику теории относительности с точки зрения материализма, противопоставляемой им точке зрения философского релятивизма, т.-е. идеализма. Взгляды Вихерта разделяются, по-видимому, подавляющим большинством крупнейших физиков, участников сборника. Монография Вихерта является т. с. «передовой», а статья А. Эйнштейна о теории относительности отведено место лишь в разделе «Общие законы и точки зрения». Читатель, без сомнения, оценит вихертовское изложение основ теории относительности, которое является лучшим из известных нам общедоступных формулировок этой теории. Отметим, однако, что с нашей точки зрения Вихерт недостаточно резко ограничивает специальную теорию относительности Эйнштейна от общей—в смысле различия их об'ективного содержания. Если столь крайний сторонник релятивизма как Г. Вейль превратился уже, по словам Вихерта, из Савла в Павла, по отношению к интерпретации экспериментальных основ теории относительности, то очень осторожный и сдержанный Эйнштейн подавно далеко отошел от того абсолютного релятивизма, который фигурирует в специальной теории. Правда, словесная оболочка осталась у Эйнштейна той же, но содержание значительно изменилось в смысле отступления от релятивизма. Одно признание неразрывной связи пространства и материи является несомненным материализмом. Не следует, однако, забывать, что взгляды Эйнштейна это одно, а теория относительности, как историческое явление—другое. И в этом смысле Вихерт прав, трактуя теорию относительности, как выражение гносеологического релятивизма, или вернее как то, что усиленно используется релятивизмом в своих целях.

Релятивизм хочет снова превратить науку в прислужницу богословия. Но ему это не удастся! Несмотря на тормозы реакции, о науке можно сказать вместе с Галилеем: А все-таки движется!

З. Д.

1) Перевод Н. М. Лихтгейма. Ред. и примечания З. Цейтлина.

Субстрат мира

Толкование Лоренц-Эйнштейновского закона видимости¹⁾.

При толковании Лоренц-Эйнштейновского закона видимости два взгляда резко противостоят друг другу. Один пользуется представлением об эфире, другой руководится Эйнштейновским релятивизмом, который возник одновременно с его первой теорией относительности (1905).

Согласно первому взгляду, которым Г. А. Лоренц руководился при разработке теории, возбуждения электромагнитного поля (электрические и магнитные) представляют перемены состояния наполняющей мир среды, эфира. Свойствами эфира, который не принимает заметного участия в движениях обычной материи, определяется распространение света. Для обычных форм материи, ее деятельности и движущих сил решающую роль играет ее связь с эфиром. Различные системы координат Лоренцовой группы физически не равнозначны, так как они относятся к разным относительным движениям относительно эфира. То, что человеку до сих пор не удалось познать различия состояний движения по отношению к эфиру, это зависит от недостаточности его чувств и его средств наблюдения, может быть, также от недостаточной еще разработки физики.

«Специальная теория относительности» опирается на две основные гипотезы, которые Эйнштейн формулировал так (1905):

Принцип относительности. «Законы, по которым изменяются состояния физических систем, независимы от того, в которой из двух систем координат, находящихся в равномерном поступательном движении одна относительно другой, отнесены эти перемены состояния».

Принцип постоянства скорости света. «Каждый луч света движется в «покоящейся» системе координат с определенной скоростью независимо от того, исходит ли этот световой луч от покоящегося или от движущегося тела. При этом скорость=пути света / на время, где «время» разумеется в смысле определения § 1».

В упомянутом здесь § 1 предписывается устанавливать «одновременность» в двух местах согласно Лоренцову местному времени, именно так, как будто свет требует равного времени на распространение туда и обратно.

Эти принципы ведут к Лоренц-Эйнштейновскому закону видимости. Релятивизм утверждает: принцип относительности буд-

¹⁾ «Закон видимости Лоренца - Эйнштейна» не что иное, как Лоренц-Эйнштейновский принцип относительности. Вихерт дает этому принципу своеобразную формулировку, заменяя понятие «систем координат» понятием «пространственно - временных систем мер», которые можно подобрать так, чтобы они удовлетворили принципу относительности.

то бы по существу обоснован лишь пространством и временем. Ни одна из систем координат Лоренцовой группы не отличается каким-либо образом от другой, все они вполне равнозначны для явлений мира. Покой и движение, одновременность, форма тел, скорость течения процессов можно рассматривать с совершенно равным правом, приняв за основание каждую из систем координат, и потому все перечисленные понятия имеют лишь «относительное» значение. Допущение «эфира», как существенного фактора, излишне; возбуждения электродинамического поля можно и следует с таким же правом рассматривать в виде самостоятельных проявлений «энергии», как и чувственно воспринимаемую материю. Если представить себе отсутствующими молекулярную материю и электродинамические возбуждения, то пространство будет не только для человеческого взгляда, но «действительно» пусто. Представление об эфире непригодно, так как оно нарушило бы взгляд на относительность в указанном смысле (т.-е. релятивизм). Представление о «покоящемся» эфире, как его применяет теория Г. А. Лоренца, есть недозволенная материализация пространства.

Таким образом «теория относительности» Эйнштейна при своем появлении искала не только углубления представления об эфире, но заняла враждебную позицию против этого представления и со своей стороны вступила с ним в борьбу.

Мы начнем с критического анализа обоих принципов. Тотчас же бросается в глаза, и это выставлялось также отдельными представителями новой теории, что принцип относительности точно соответствует точке зрения классической механики, если иметь в виду, что для нашего представления ни одна точка пространства не имеет предпочтения перед другой. С другой стороны, готовая теория относительности показывает, что принцип относительности в своей общей формулировке на самом деле не лежит в ее основании. Ибо характерная черта этой теории состоит в том, что допускаются лишь те системы координат, которые принадлежат передвижениям (*Schreitungen*)¹⁾ подсветовой области. Таким образом именно ограничение значимости принципа относительности отличает теорию относительности от классической механики.

«Принцип постоянства скорости света» устанавливает определенные понятия и привносит 3 гипотезы. Требуется рассматривать «одновременность» в двух местах так, что свет имеет одинаковую скорость при движении вперед и назад. Гипотезы таковы: 1. Перемещения света в смысле, изложенном ранее, должны рассматриваться везде, даже внутри материи, неизменными, независимо от материи и ее движений. 2 и 3. Если любая система тел испытывает перемену своего состояния движения такого рода, что различие является присоединением равномерного поступательного движения, то 2. свет в пустом пространстве обнаруживает, как до, так и после перемены, во всем направлениям одинаковую скорость и 3. свет имеет численно-одинаковую скорость. Очевидно, гипотезы (2) и (3), численно-

¹⁾ Термин «перемещения» (*Schreitung*) имеет у Вихерта смысл абсолютного движения, независимого от систем координат. См. Ann. d. Physik, B. 63, стр. 357, статья Вихерта: «Die Gravitation als electrodynamische Erscheinung».

определяющие скорость с помощью масштаба и часов, связывают форму тел и скорость течения физических процессов с распространением света.

Из этих трех гипотез две последние вполне совпадают со смыслом принципа относительности и могут быть присоединены к нему. Но особенное значение имеет первая гипотеза. Она дает перемещениям света особенное положение и в связи с принципом относительности господствующее положение в физике. Перемещения света считаются чем-то, что уже в «пустом» пространстве имеет определенность и независимо от материи.

Геометрия четырехмерного пространства-времени.

Решающее значение для дальнейшего развития теории относительности приобрела теория четырехмерного пространства-времени, созданная профессором математики Германом Минковским (1864—1909). По примеру других координат присоединяется к координатам пространства x, y, z , как равносенная четвертая $\sqrt{-1} ct$, где c обозначает скорость света, а t время. В обыкновенной геометрии пространства трех измерений для двух точек пространства x, y, z и $x+ds, y+ds, z+ds$ величина ds , определяемая выражением $ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2$, обозначает «расстояние» или лежащий между ними «элемент длины», даваемый конкретностью тел. Поэтому, при переходе к новым координатам x', y', z' , сумма $dx'^2 + dy'^2 + dz'^2$ должна представлять ту же величину:

$$dx'^2 + dy'^2 + dz'^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2.$$

На математическом языке это значит, что элемент длины ds , при преобразованных координатах, должен быть «инвариантой». Г. Минковский обратил внимание, что для преобразований координат, обозначаемых Лоренцовыми (L), имеется инварианта, которая при дифференциальном обозначении принимает вид:

$$ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2 - c^2 dt^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2 + [d(c\sqrt{-1} t)]^2.$$

ds называется «элементом длины пространства-времени» или «расстоянием» между точками пространства времени x, y, z, t и $x+dx, y+dy, z+dz, t+dt$ и может считаться основанием четырехмерной геометрии пространства-времени Минковского. Значение Лоренц-Эйнштейновского закона видимости очевидно из следующих предложений: если $ds^2 > 0$, т.-е. ds действительно, то ds представляет элемент длины пространства в определенном перемещении. В системе координат соответственного перемещения $dt=0$ и $ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2$, ds можно измерять масштабом, «находящимся в покое»; во всякой другой системе координат масштаб, служащий для измерения, представляется соответственно перемещающимся. Если $ds^2 < 0$, т.-е. ds мнимая величина, то ds обозначает элемент времени, приуроченный к определенному перемещению. В системе координат этого перемещения $dx=0, dy=0, dz=0$, элемент времени dt , данный выражением $ds^2 = c^2 dt^2$, можно измерить прямо часами, покоящимися в определенном пункте x, y, z . В каждой другой системе координат часы, служащие для прямого изме-

рения, представляются в соответственном движении. К $ds=0$ относится $dx^2 + dy^2 + dz^2 = c^2 dt^2$. Пространственное и временное расстояние ($\sqrt{dx^2 + dy^2 + dz^2}$ и dt) вместе показывают здесь скорость света между точками пространства-времени x, y, z, t и $x+dx, y+dy, z+dz, t+dt$. Это значит: Перемещения света обозначаются нулевыми величинами элемента длины ds пространства-времени.

Согласно этим предложению в элементе длины пространства-времени с его инвариантностью отражаются характерные свойства закона видимости Лоренца-Эйнштейна с полной очевидностью. Если же изменить точку зрения и, обратив рассуждения, положить в основание инвариантность элемента длины пространства-времени в принятых инерциальных системах, то этим устанавливается система перемещений света, и получается, как легко показать, закон видимости. Отсюда следуют: В инвариантности элемента длины пространства-времени можно видеть сущность закона видимости. Еще более! Принципу относительности классической механики, как он связывается с Галилеевым преобразованием (G), соответствует инвариантный элемент длины пространства ds , данный формулой $ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2$. Успех новейшего воззрения на пространство и время по Г. Минковскому надо видеть в том, что независимость пространства и времени друг от друга, принятая Ньютоном, является заблуждением по учению электродинамики, и сообразно с этим элемент длины пространства-времени, данный уравнением $ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2 - c^2 dt^2$ заменил пространственный элемент длины. Прибавим, что эта перемена воззрения появилась, когда поле инерции было дополнено признанием определенности перемещений света. Поскольку представители теории относительности вообще обращали внимание на определенность перемещений света, допускаемую их теорией—а это случалось не часто,—она казалась им также обоснованной своеобразием пространственно-временного многообразия, как определенность инерциального поля. Таким образом представление об эфиреказалось излишним.

Абсолютное и относительное. Так как роль эфира релятивистами определенно исключалась, и определенность должна была господствовать уже в «пустом» пространстве, то получается замечательное следствие, что специальная «теория относительности» вопреки своему имени была абсолютной теорией о пространстве и времени в смысле Эрнеста Маха, в которой абсолютный характер оказывается еще усиленным сравнительно с классической механикой, так как в нее включены были также перемещения света! Это автор изложил в первом издании настоящего труда. Не менее замечательно, что эфирная теория закона видимости, которую часто обозначали, как абсолютную теорию, носит в смысле Маха сплошь характер относительной теории, ибо в ней представляют себе действие материи, как она характеризуется законом видимости, основанным движением относительно эфира¹⁾. Возражение теоретиков относительности, что

¹⁾ Здесь Вихерт подчеркивает то, что мы назвали «эмпирическим софизмом Эйнштейна». Утверждать, что свет имеет абсолютно определенную скорость в «пустоте», значит действительно абсолютизировать на деле то,

«покоящийся» эфир «материализует» Ньютоноvo абсолютное пространство, легко опровергается. Г. А. Лоренц сам писал уже в 1895 году: «Что об абсолютном покое эфира не может быть речи, это разумеется само собой: это выражение даже не имело бы смысла. Если я говорю ради краткости, что эфир покоится, то это значит, что одна часть этой среды не перемещается по отношению к другой, и все воспринимаемые движения небесных тел суть относительные движения относительно эфира». В течение времени эфиру приписали самые замечательные и разнообразные внутренние движения, но, вероятно, никогда не было представителя такого взгляда на эфир, который бы считал его «абсолютно» неподвижным в пространстве.

Характерная черта абсолютного, присущая теории относительности, с очевидностью выступает в ее предложениях об «относительности одновременности». Именно эта относительность по теории имеет силу не вообще, но лишь в определенных границах, данных распространением света, которые по человеческим понятиям очень тесны. Представим себе два места А и В на расстоянии 150 километров. Мы спрашиваем, как надо поставить часы в В, чтобы они показали одновременность с часами в А. Релятивизм оставляет при этом открытый интервал, ибо постановка часов зависит от того, какую точку занимает решающий наблюдатель, выражаясь иначе, какое перемещение избирается для системы координат, подлежащей распространению. Открытый интервал определяется следующим простым рассуждением. Световой сигнал, исходящий из А и отражающийся в В, возвращается в А в $1/1000$ секунды. По теории относительности момент отражения в В также лежит между исходным моментом и моментом возвращения в А. Где его здесь поместить, это зависит от выбора системы отсчета. Отсюда следует, что для постановки часов в В на одновременность с часами в А остается открытый интервал в $1/1000$ секунды. Это имеет силу для расстояния в 150 километров сравниваемых мест, интервал возрастает пропорционально расстоянию. Кто хочет придерживаться релятивизма, должен допустить, что ограничение интервала определяется свойствами пространства и времени; кто склоняется к представлению об эфире, видит здесь действие эфира.

Читателю не особенно понравится выступившее перед нами смешение «абсолютного» и «относительного». Это впечатление может еще усилиться цитатой из одного философского сочинения. Передо мной лежит четвертое издание книги И. Петцольда (Мировая проблема), только что присланная мне. Там на стр. 48 сказано: «Нет абсолютной истины, так как нет абсолютной точки покоя, абсолютного начала, ничего абсолютно неизмененного, ни абсолютной субстанции, вообще ничего отдельно абсолютного». Если мы примем это изречение в обычном понимании, то нет «абсолютной истины» моего существования в то время, когда я пишу это, существования земли, на которой я живу, так как нет абсолютных истин!—Мы знаем, что опасность недоразумений очень велика, когда пользуются словами «абсолют-

что об'является относительным на словах. Вихерт, однако, не зная диалектики, не понимает отчетливо, как сочетается «абсолютное пространство Ньютона» с его принципом относительности.

ный» и «относительный». Необходимо внимание и добрая воля, чтобы избежать путаницы. Для физики важно, чтобы в ней слово «относительный» было связано с двумя очень различными понятиями, которые автор (1921) определил как «телесную относительность» и «относительность точки зрения»=«относительности изображения». Первую Э. Мах имел в виду, когда утверждал, что всякое физическое явление в мире представляет взаимодействие между телами. Понятие тела здесь надо принимать в самом общем значении за нечто, действительно существующее в пространстве и времени¹⁾. «Относительность точки зрения» есть та, которую Эйнштейнова теория относительности об'являет господствующей. Так как в философии для относительности точки зрения применяется название «релятивизм», то оно уже часто употреблялось в настоящем изложении. Именно родство хода мышления теории относительности с ходом мышления философского релятивизма сильно содействовало его распространению.

Возражения против релятивизма. Автор Эмиль Вихерт (род. 1861 г., профессор геофизики) с 1911 года оспаривал в ряде сочинений форму, которую релятивизм получил в теории относительности. Он полагает, что релятивизм не служит достаточным физическим основанием для теории. По его мнению, релятивизм имеет здесь лишь формальное значение для известных способов рассмотрения явлений. Так как дело идет о современном обосновании механики, то надо выяснить это несколько ближе. Однако об этом следует сказать возможно короче лишь столько, сколько необходимо для выяснения самого существенного.

Релятивизм утверждает, что для процессов, о которых говорит физика, каждая из систем координат группы Лоренца вполне равноцenna каждой другой. Вообще каждая дает другое суждение об одновременности, о форме тел и о скорости течения процессов; все эти суждения, говорит релятивизм, равноценны. По основаниям теории познания это должно быть так, и именно поэтому представление об эфире, как противоречащее теории познания об'явлено ошибочным. Против этого следует сказать, что сама теория относительности ведет к заключению, что существуют физически различные перемещения, именно подсветовые, световые и надсветовые. Напр., материя может находиться лишь в подсветовых перемещениях. Если, таким образом, по теории относительности, перемещения, взятые в целом, не равноценны между собою, то автору кажется внутренним противоречием теории, когда несмотря на то принимается, что подсветовые перемещения равноценны между собою во «всех физических отношениях». По меньшей мере дело идет о гипотезе, которая кажется в высшей мере спорной. На самом деле можно привести соображения, доказывающие неравноценность подсветовых перемещений. Чтобы об'яснить это на примере, надо прибегнуть к мысленному опыту, которым автор пользовался с 1911 года и который он позже в исправленной форме назвал «опытом трех перемещений». В ми-

¹⁾ Это есть настоящий материализм. Не желая употреблять последнего термина, Вихерт говорит о «телесной относительности».

ровом пространстве между звездами и возможно дальше от них, три небольшие мировые тела А, В и С могут быть «представлены самим себе». Их движение таково, что они проходят близко одно возле другого, однако не сталкиваясь. Ввиду малости мировых тел и не слишком большой близости при прохождениях, возмущение путей тяготения для опыта несущественно. Относительно А, В и С могут иметь противоположные движения. Сначала В проходит мимо А (совпадение I), затем С мимо В (совпадение II), наконец С мимо А (совпадение III). На этих трех мировых телах мы воображаем себе наблюдателей — по одному живому существу того же рода. Оба наблюдателя на В и А при совпадении I имеют одинаковый возраст, также наблюдатели на С и В при совпадении II. Тогда применение формул (L), т.-е. Лоренц-Эйнштейнова закона видимости, показывает, что при совпадении III наблюдатель на А подвинулся дальше в своей жизни, т.-е. стал старше наблюдателя на С. Разница возраста тем больше, чем больше относительная скорость мировых тел, и, если скорость В и С относительно А приближается к скорости света, то при надлежащей постановке опыта разница идет так далеко, что при совпадении III наблюдатель на С кажется лишь немногим старше, чем был наблюдатель на В при совпадении I, тогда как наблюдатель на А между этими совпадениями давно прожил свою жизнь и должен быть замещен многими преемниками. Вместо живых существ для сравнения можно было избрать любые физические процессы: при повторении опыта ход процессов беспредельно медленнее, когда перемещения В и С беспредельно приближаются к скорости света. Если при об'яснении этого результата предоставить нашему рассудку обычную мыслительную работу, то надо заключить, что при все большем приближении перемещения тела к перемещениям света физические процессы «действительно» беспредельно замедляются. Этим была бы доказана неравноценность подсветовых перемещений для физических процессов. Если хотят опорочить этот способ умозаключения, то надо бы было допустить, что наш разум в своем нынешнем развитии уже неспособен приспособляться к требованиям, которые ставятся физическим релятивизмом. В кругах релятивистов заметна склонность признать это. Но из вышеупомянутого рассуждения ясно следует, что об'явление несостоятельности разума требуется лишь, чтобы поддержать гипотезу (именно гипотезу полной равноценности подсветовых перемещений), которая в общем составе теории является как бы противоречием. Далее надо обратить внимание, что, если подвергается сомнению прочность разума, то возникает вопрос, где он заблуждается.

Если принять во внимание неравноценность подсветовых перемещений, то своеобразные законы теории относительности (т.-е. математически-физической теории, связанной с законом видимости Лоренца-Эйнштейна) о сложении скоростей совершенно теряют свой парадоксальный характер. Одного примера будет достаточно, чтобы выяснить это. Если к наличной уже скорости тела А прибавлять все снова определенную скорость, v , то его общая скорость по теории относительности приближается к скорости света, а не к бесконечности, как учила классическая механика. Чтобы понять этот результат, надо иметь в виду, как здесь представляется сложение скоростей. Исходная система ко-

ординат, в которой А сначала находится в покое, будет К; если тело А приобретает скорость v в первый раз, то оно имеет эту скорость в K_1 . Второе прибавление v должно происходить так: образуется Лоренцова система координат K_2 , в которой А находится «в покое» (так как K_2 получает скорость v относительно K_1). Тогда тело А в K_2 приводится к скорости v . Подобным же образом при дальнейших прибавлениях v каждый раз надо принимать систему координат, в которой А оказалось до прибавления. Вследствие неравноценности перемещений и соответственных систем координат, при этом образе действия каждое новое прибавление v обозначает нечто физически иное. Этим легко об'ясняется, что окончательный результат скорости приводит к c , а не к ∞ .

Субстрат мира. Допуская, что закон видимости Лоренца-Эйнштейна имеет силу, можно вкратце представить результат изложенных соображений так:

I. Субстрат мира и связывающее поле. Механика и электродинамика учат, что существует субстрат мира, который находится везде и, повидимому, налагается на всякое место материи и электромагнитных процессов. Его физическое действие обнаруживается в «связывающем поле», которое об'единяет поле «инерции и перемещения света».

II. Вихртов закон неравноценности перемещений и систем координат. (В разных формулировках с 1911 г.). Субстрат мира производит то, что в общем все перемещения и поэтому также все системы координат для физических процессов являются неравноценными. При этом речь идет, как о качественной, так и о количественной неравноценности.

Качественная неравноценность перемещений проявляется в различии подсветовых, световых и надсветовых перемещений. Материя в знакомой нам форме может находиться лишь в подсветовых перемещениях. Количественная неравноценность подсветовых перемещений имеет следствием то, что форма материи и скорость течения физических процессов зависит от перемещения материальных тел. По закону видимости необходим бесконечно идущий приток энергии, чтобы частицу материи привести к перемещениям света.

III. Физический характер мирового субстрата. В понимании мирового субстрата противостоят друг другу два представления: представление пространства-времени и представление эфира. Представление пространства-времени видит в мировом субстрате не что иное, как пространство и время, связанные в высшем единстве. При этом принимается, что перемещения света определяются отношениями между пространством и временем. Представление об эфире допускает, что для мирового субстрата существенно нечто, находящееся в пространстве и времени.

При характеристике эфира умышленно избегалось употребление слов «субстанция» и «субстанциональный», так как при этом благодаря философским спорам опасность недоразумений была бы не меньше, чем при употреблении слов: относительный и абсолютный. Из названных в п. III обоих представлений остается лишь представление эфира, если признать предложение, которое автор формулировал в 1924 г. следующим образом:

IV. Теорема пространства-времени Маха-Вихерта. Пространство и время, как таковые, никоим образом не могут выполнять телесных действий¹⁾.

В названии автор прибавляет имя Маха, так как он сам был приведен к этому предложению рассуждениями Маха, и так как это предложение кажется ему соответствующим рассуждениям Маха²⁾.

По отношению к предложению II можно заметить еще следующее. Для наивного представления каждое твердое тело представляет нечто самостоятельное в мире, и потому всякое перемещение является равноценным всякому другому. Принцип видимости с его допущением заранее данных перемещений света учит, что самостоятельность тел и вместе с тем равноценность перемещений представляют заблуждение. Если при допущении закона видимости желают сохранить и равноценность перемещений, то и субстрат мира с его перемещениями света надо представлять как нечто случайно данное, притом в изменчивых состояниях движения. По предложению II известные состояния, которые для человеческого взгляда кажутся равноценны, однако неравноценны в мировом целом. Релятивизм в своей обычной форме утверждает, что известные состояния, которые, будучи рассматриваемы с одной точки зрения, кажутся различны (напр., формы однородных тел, которые различаются деформацией Лоренца-Фицджеральда), однако равноценны в мировом целом. Ясно, что оба утверждения могут соответствовать естественным условиям. Таким образом, задачей научного исследования является установить, какое из обоих утверждений имеет силу в отдельном случае. При развитии теории Лоренц пользовался первым утверждением, а Эйнштейн вторым.

При взгляде на нынешние научные споры важно еще раз подчеркнуть, что принцип видимости, трансформация Лоренца и относящаяся сюда физико-математическая теория относительности вовсе не противоречат теории эфира, но,—по мнению автора,—как раз наоборот, только в ней могут получить физическое удовлетворительное обоснование.

Материя и эфир.

Живое отвращение некоторых теоретиков относительности к представлению об эфире привело к представлению пространства-времени удивительной смелости. Поле $g_{\mu\nu}$, которое в теории относительности выступает в противоположность материи, и для которого эфир не может играть роли, должно единственно представлять свойства «пространства и времени». Таким образом пространство и время, как подоснова мира, и в пустом простран-

¹⁾ Мысль Вихерта о соотношении пространства, времени и материи выражена неправильно; противопоставляя пространство и время эфиру, Вихерт хочет сказать, что пространство и время являются лишь «формами бытия» материи, но не имеют самостоятельного значения. Если утверждать последнее, то это прямо ведет к идеализму, в частности к гносеологии Канта.

²⁾ Это утверждение Вихерта не совсем правильно, так как тенденция рассуждений Маха о пространстве и времени заключается в том, чтобы свести пространство и время к особой форме, «связи ощущений». Вихерт же, как физик, трактует пространство и время, как об'ективные формы бытия «тел» (материи).

стве получают «структуру» или «кривизну»; даже, при изменениях состояния материи, должны возникать «волны пространства-времени», которые проходят даже через пустое пространство.

Эйнштейн отвернулся от этой крайности. В одной речи в Лейдене, месте деятельности Г. А. Лоренца, он признал в 1920 г. представление эфира. «По общей теории относительности пространство наделено физическими качествами; в этом смысле существует эфир». Эйнштейн тогда сказал также: «Эфир общей теории относительности есть среда, которая сама свободна от всех механических и кинематических свойств, но определяет собою механические (или электромагнитные) явления». Напротив, я считаю невозможным отказывать эфиру во всех механических или кинематических свойствах. Он определяет связующее поле и таким образом форму тел, скорость течения процессов, путь тел, предоставленных самим себе. Разве это не механические свойства? Он определяет перемещения света и, вместе с тем, границы перемещений, в которых материальные тела могут двигаться. Разве это не кинематическое свойство? Правда, теоретики относительности утверждают часто, что самому эфиру нельзя приписывать определенного перемещения. Но откуда это известно? Если чувства человека не показывают этого перемещения, это не может быть основанием к отрицанию его. Эти чувства недостаточны даже для непосредственного познания воздуха, которым мы живем при каждом дыхании. В виду определенности перемещений света, отрицание определенного перемещения эфира есть чистая и весьма невероятная гипотеза. Уже выше при описании опыта трех перемещений было изложено, что эфир делает подсветовые перемещения для физики неравноценными. Таким образом становится в высшей мере вероятным существование отличного перемещения для эфира. Мы находим даже астрономические указания, ясно свидетельствующие, где надо искать это перемещение в нашей звездной системе. Я упомяну лишь об одном указании. В соседстве весьма горячих звезд можно наблюдать облака кальция, не принимающие участия в движении этих звезд. Их перемещение соответствует приблизительно средней скорости звездной системы, к которой принадлежит солнце. Поэтому легко предположить, что среднее движение звездной системы близко соответствует перемещению эфира в области звездной системы, а облака кальция находятся почти в покое относительно эфира вследствие своего рода трения. Можно ли выставить гипотезу, которая обявляет такие рассуждения *a priori* недопустимыми?

Причина, почему некоторыми теоретиками относительности не допускается, что эфир может предпочитать одно перемещение другим, лежит в склонности к релятивизму, который многообразно связывается с теорией. Теперь мы должны выяснить эти отношения, чтобы открыть путь к заключительным замечаниям.

Пользуясь языком математики, А. Эйнштейн представляет релятивизм в «общем принципе относительности» следующим образом: «Все Гауссовы системы координат принципиально равнозначны для формулирования общих законов природы». Под Гауссовой системой координат надо понимать такую, которая

пользуется четырьмя координатами x_1, x_2, x_3 и x_4 произвольно, чтобы обозначать точки пространства-времени. Само собою разумеется, что для формулирования законов природы можно пользоваться всякой системой координат. Конечно, не это имеется в виду. Что в релятивизме следует разуметь под «равноценностью», будет ясно из рассмотрения примеров:

1 пример. Железнодорожная катастрофа, вызванная слишком сильным торможением (Ленар-Эйнштейн). Между тем, как раненый пассажир для описания несчастия пользуется системой координат, связанной с вагонами его дороги, релятивизм принципиально допускает следующее понимание. Вагон и во время торможения удерживал свое состояние движения, но в это время господствовало переменное поле тяготения, в котором попутно дороги, соседняя колокольня, вся земля и сам пассажир двигались неравномерно. Таким образом пассажир столкнулся с вагоном.

2 пример. Изгибающаяся линейка (Г. Ми). Линейка, которую я держу в руке, кажется сама в покое. Свет, проходящий вдоль ее ребра, показывает ее прямолинейность. При выборе другой системы координат, релятивизм допускает следующее понимание: под влиянием сильно меняющихся полей тяготения, линейка и луч света выполняют змееидные движения, именно так, что луч света попрежнему идет вдоль ребра (Г. Ми. Эйнштейнова теория тяготения. Лейпциг 1921).

3 пример. «Она все-таки не движется» (Кто впервые высказал эту формулу, напоминающую о Галилее, мне неизвестно; я познакомился с нею в изложении теории относительности профессора физики А. Зоммерфельда (род. 1868 г.) в Южно-германском ежемесячнике (1920), где представляется точка зрения релятивизма). По утверждению релятивизма это понимание снова получило значение, т.-е. что не земля вращается вокруг своей оси и движется около солнца, но она стоит неподвижно, а солнце со всеми другими звездами движется под влиянием меняющихся полей тяготения вокруг нее. Эти поля служат также причиной сплющенной формы земли.

4 пример. Эйнштейнова наблюдательная камера. (Имея в виду последующее, я представляю пример в специальных формах). а) Камера падает свободно в поле тяготения земли; с точки зрения релятивизма находящийся внутри наблюдатель может смотреть на дело так, что там нет поля тяготения. б) Камера в мировом пространстве далеко от звезд увлекается ускоренно находящейся впереди междузвездной машиной. Находящийся внутри наблюдатель имеет право допустить поле тяготения.

Эти примеры показывают, что релятивизм здесь так же, как в специальной теории относительности, об'являет естественные процессы многозначными. Релятивизм служил основанием для выработки Эйнштейновой теории тяготения; ибо Эйнштейн искал и нашел весьма простые уравнения поля, форма которых во всех Гауссовых системах координат остается неизменной и таким образом допускает во всех примерах указанное релятивистское толкование. Вместе со многими физиками, между прочим сторонниками Эйнштейновой теории тяготения, как напр. Г. Ми, я того мнения, что за релятивизмом и в его новой форме не может

быть признано физическое значение доущенного характера. Он ведет к тому, чтобы представлять в природе процессы, имеющие лишь значение математической функции. Переменные поля тяготения наших примеров представляют не что иное, как такую функцию. Действительное поле тяготения означает различия состояния эфира, которые вызываются в нем материей; такое поле не может быть ни вызвано, ни устранено выбором той или иной системы координат. Укажем здесь еще на следующий пример, который, повидимому, способен показать характер релятивизма. Сущность процессов электродинамических колебаний состоит в противоборстве двух различных состояний поля, возбуждений электрического и магнитного полей. При этом надо допустить, что человеческому представлению и в природе соответствует смена двух различных состояний. Но релятивизм, примененный, например, к предоставленному самому себе электрону, утверждает, что, смотря по выбору системы координат, можно смотреть на один и тот же процесс один раз так, что возбуждения электрического и магнитного поля сменяются друг другом—если смотреть на электрон, как на подвижный,—или же так, что существует только электрическое возбуждение поля—если считать электрон как находящийся в покое. Таким образом процесс перемены состояния, по произволу человеческого понимания, может считаться существующим или несуществующим. Мне кажется, что релятивизм слагает вину за человеческую неспособность различения на природу.

Если не признавать физического релятивизма, то и относительность одновременности, связанная с распространением света, теряет свое значение. Если бы в природе на деле существовала неопределенность одновременности, то область ее во всяком случае была бы уже, чем считалось до сих пор.

Наши рассуждения показали важное значение эфира для построения мира и особенно для механического проявления материи. Таким образом перед нами возникает вопрос, который уже часто волновал умы натуралистов: в каком отношении родства состоят друг к другу эфир и материя. Представляет ли эфир лишь особую, нежную форму материи, или материя означает отличные места в эфирном море мира? Конечно, не может быть сомнения, что с развитием науки с того времени, как знаменитый английский физик Виллиам Томсон (lord Кельвин) об'явил атомы материи вихрями в эфире, все больше подготавливается победа второго взгляда. Сильный толчок к тому дало электродинамическое представление материи, по которому ее деятельность об'ясняется процессами в эфире.

А. Эйнштейн решился вполне подчинить материи эфир, который для него является совокупностью свойств пространства-времени в мире. С этой целью он формулировал следующий принцип, который он (1918) называет «принципом Маха», но лучше назвать его «Эйнштейновым космологическим принципом». «Поле g без остатка определяется массами тел». Под полем g надо понимать поле, определяемое величинами $g_{\mu\nu}$. При проведении принципа представляются трудности в понимании бесконечности пространства и времени. Для пространственной бесконечности затруднения родственны тем, которые связаны с Ньютонаским законом тяготения в классической механике. Если считать этот

закон строго справедливым и предположить сумму масс мира бесконечно большой, то оказывается неопределенность тяготения для каждого места, на что обратил внимание астроном Г. Зелигер (род. 1849). С другой стороны, если считать сумму масс конечной, то оказалось бы в высшей степени неудовлетворительное раздробление масс в бесконечно протяженном пустом пространстве. Чтобы избегнуть неопределенности, можно предложить, подобно Зелигеру, что тяготение испытывает в некотором роде поглощение; можно также в согласии с более старыми представлениями (напр., Гельмгольца) считать мир хотя неограниченным, но конечно протяженным, что кажется возможным. Этот последний выход выбрал Эйнштейн для своей теории. Он изображает картину, которая представляет нам массы в более малых областях неправильно распределенными, но в общем и целом равномерно распределенными в мире, тогда как эфир со своими пространственно-временными определениями почти однобразно-наполняет мир. При этом протяжение мира благодаря связи материи и эфира, повидимому, определяется количеством масс в мире. Об этих соображениях надо сказать, что искомое подчинение эфира (подобно пространству и времени) материи не удается; ибо в только что описанной картине материя и эфир являются смежными друг другу, а именно эфир распространен весьма равномерно, а материя очень неравномерно. Но прежде всего в этой теории остается трудность временной бесконечности: как бы далеко ни отойти мысленно в прошлое, но для нынешнего состояния мира кажется решающим первоначальное состояние эфира так же, как первоначальное состояние и свойства материи. Другую попытку преодолеть трудности бесконечности в теории относительности сделал астроном Де-Зиттер; и здесь материя не получает преобладания¹⁾.

Важной новой точкой зрения для рассмотрения отношений между материй и эфиром мы обязаны профессору физики Густаву Ми (род. 1868). Под влиянием «специальной теории относительности» он развел в 1912—1913 г.г. теорию материи (*Анналы физики*). Теория исходит из электродинамики и пользуется Гамильтоновым принципом. Как развитие Лагранжевой функции выступает «мировая функция», изображающая состояние подосновы мира. Повидимому, вполне возможно, при соответствующем преобразовании свойств электродинамического поля, выбрать ее так, что известные электродинамические образования станут устойчивыми формами. Тогда в последних мы имели бы основные формы материи, как отрицательные и положительные ядра. Математик Давид Гильберт (род. 1862) соответственно развил теорию Ми в общей теории относительности Эйнштейна, где мировая функция обнимает и величины $g_{\mu\nu}$. Он получает «основные уравнения физики», отличающиеся высоким математическим изяществом.

Мысль Ми представляет заманчивую перспективу, исходя из электромагнитного представления материи, связать в спре-

¹⁾ Указываемая здесь Вихертом трудность возникла благодаря привычке рассматривать тяготение, как нечто метафизически абсолютное, а не как физическое явление. Если стать на фактическую точку зрения, тоже видно, что могут в бесконечном пространстве существовать массы, не связанные тяготением и тогда все указываемые трудности ликвидируются.

деленных математических построениях материю и эфир в одно связное целое, как это представлялось В. Томсону в его вихревой теории и его последователям. Конечно, при этом точно так же, как в Ньютона законе тяготения, являются отвлеченные функции и законы вместо образов, взятых из нашей обыденной обстановки, к которым человеческий ум все снова стремится со временем картезианцев. Мы видим перед собой тайну мира. Удастся ли когда-нибудь человеку достигнуть понимания, которое принесет мир его стремлению к познанию?

Старая физика видела в материальных частицах часто неизменное вещество, которому приписывались свойства инерции, протяжения и т. д. Если же в материи видеть отличные места в эфире, то картина будет иная. Возможно, что в материи, как в волне на море, поддерживается лишь состояние субстрата мира более или менее прочно, более или менее долго. Материя течет через волну и через пламя быстро, через наше собственное тело медленно в постоянной смене. Может быть, даже вероятно, что сами материальные частицы подобным же образом представляют места постоянного превращения.

Часто считалось странным, что теориями, примыкающими к Лоренцовой электродинамике, обясняется, будто эфир не принимает заметного участия в движении материальных тел, даже когда последние достигают величины земли. Здесь надо принять во внимание, что согласно новой физике положительные и отрицательные ядра атомов занимают неизмеримо меньше места, чем атомы в целом. Современному физику материя представляется облаком, частицы которого находятся на больших расстояниях друг от друга. Так можно без затруднения допустить, что эфир принимает живое участие в движении отдельного ядра, а для материи в целом не оказывается заметного совместного движения. К этому еще присоединяется, что отдельные ядра материи, по всей вероятности, означают лишь особенное состояние эфира в данном месте.

Полезно также тщательно, без предубеждения, принять известное решение в старом вопросе, эфир или материя плотнее. Если принять, как вероятно, что возбуждение электрического и магнитного поля суть признаки изменений состояния эфира, а именно сравнительно небольших, то плотность энергии в эфире должна быть гораздо больше плотности, являющейся в электромагнитных полях. Тогда возникает представление о чрезвычайно большой плотности энергии в нормальном состоянии эфира (подобно тому, как это принимает теория Винера). Если еще связать плотность энергии E и плотность массы μ по формуле $\mu = E/c^2$, где c означает скорость света, то для плотности эфира получаются величины порядка 10^{10} или больше относительно воды = 1. Такие плотности часто принимались физиками нового времени, напр. Оливером Лоджем (Мировой эфир. В немецком переводе, Брауншвейг 1911). И я присоединился к этому. Признавая малую величину атомных ядер, нельзя видеть ничего странного в этих числах. Но никогда не следует терять из виду, что в гипотезе состояния для материи сравнение плотностей материи и эфира также вызывает сомнение. Прежде всего плотность массы тогда имеет лишь относительное значение для самой материи.

Большую неожиданность представила теория квант новой физики. Оказывается, существуют явления, которые не согласуются с современными представлениями механики о делимости энергии и электродинамики о действительности ее законов в области атомов. Обнаруживаются замечательные отношения между периодами колебаний и количествами энергии. Кажется, достоверно, что предстоят важные дальнейшие открытия о строении материи в ее связи с эфиром. Профессор физики Филипп Ленар (род. 1862) сделал уже попытку создать новую теорию материи, эфира и тяготения (Лейпциг 1920. Ежегодник радиоактивности и электротехники. 1921 г.). При этом материальные тела приобретают эфирные атмосферы, которые их сопровождают и простираются далеко в «первобытный эфир», наполняющий мир. Я склоняюсь к тому часто высказываемому мнению, которое находитяется найти решение загадки в самой материи.

Мы приблизились к концу нашего странствия. В докладе о значении мирового эфира, который я читал в 1894 г. в Физико-Экономическом обществе в Кенигсберге (напечатан в отчетах заседаний общества), я сказал: «Итак, мы видим в природе совершающееся перед нашими умственными очами превращение, при чем значение вначале едва подозреваемого эфира возрастает все более и более. Чем же станет чувственно воспринимаемая материя, которую мы склонны были считать единственно господствующей? Она должна была уступить эфиру значительную часть сил природы и довольствоваться ролью скопления возбуждающих центров в эфире. Я доказал, что материя обязана эфиру даже своей инерцией. Новые исследования делают вероятным, что все свойства материи зависят от ее движения через эфир и от состояния эфира в ее месте. Ничтожные изменения свойства эфира оказывают уже большое действие на материю. Тяжесть, приковывающая нас к земле, имеет причину в том, что скорость света с каждым метром подъема возрастает не более, чем на $2 \cdot 10^{-16}$ своей величины! С другой стороны влияние материи на свойства эфира крайне мало. Даже громадное скопление массы солнца может изменить скорость света на его поверхности приблизительно лишь на $1/250000$ ее величины на далеких расстояниях. В работе, напечатанной в 1921 г. («Эфир в мировой картине физики», Берлин, книжная торговля Вейдемана), я писал: «Таким образом эфир преобладает над молекуларной материи». В текущем 1924 году (в журнале «Die Naturwissenschaften») один из особенно ревностных теоретиков относительности, математик Г. Вейль (стр. 44) в диалоге, где он выступает уже не «Савлом», а «Павлом», говорит о «могущественном преобладании эфира во взаимодействии между эфиром и материй».

Эфир оказывается подосновой, об'единяющей мир, представляющейся нашим чувствам, в одно целое. Принимая во внимание, каким образом механическое проявление материи в форме, инерции и движения определяется ее связью с эфиром, мы можем заключить наши исследования утверждением: Механика, благодаря исследованиям нового времени, стала физикой эфира¹⁾.

¹⁾ Мы обращаем на это положение Вихерта особенное внимание всех тех, кто хочет заняться основательным рассмотрением вопроса о «механическом материализме». Современная механика очень далеко ушла от механики XVIII века, и это необходимо иметь в виду при критике «механического материализма».