

ИЗ ИСТОРИИ ФИЗИКИ

530.12

**ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕОРИЯ ЛОРЕНЦА  
И ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ ЭЙНШТЕЙНА \*)***С. Голдберг*

Рассмотрена разработка Лоренцем электронной теории в связи с проблемой электродинамики движущихся тел. Показано, что принцип относительности не играл существенной роли в теории Лоренца и что, хотя Лоренц в конце концов признал отличие своей теории от теории Эйнштейна, он так и не смог полностью разделить представления Эйнштейна и тем самым отказаться от гипотезы эфира.

**ВВЕДЕНИЕ**

Почти все современники Г. А. Лоренца — и ученые его ранга, и его сотрудники — считали его величайшим физиком последней четверти девятнадцатого и первой четверти двадцатого века. Круг интересов Лоренца был очень широк \*\*), но в своей работе я ограничусь лишь

\*) S. Goldberg, The Lorentz Theory of Electrons and Einstein's Theory of Relativity, Amer. J. Phys. 37, No. 10, 982 (1969). Перевод В. И. Рыдника.

\*\*) Г. А. Лоренц (1853—1928) основную часть активного периода своей творческой деятельности провел в Лейдене, занимая пост профессора теоретической физики в Лейденском университете на кафедре, специально для него учрежденной (1, стр. 34).

Здесь мы процитируем лишь несколько из множества воспоминаний, посвященных Лоренцу. Согласно высказыванию А. Д. Фоккера, «когда мы рассматриваем труды Лоренца в целом, становится ясным, что он своими научными воззрениями проложил мост из девятнадцатого века в двадцатый... Никто не смог продвинуть классическую теорию дальше, чем он... Он вывел из нее предельно далекие следствия» (см.1, стр. 78). В некрологе, посвященном Лоренцу, Лейф Пейдж писал, что «...мир лишился одного из великих физиков-теоретиков прошлого столетия»2. Макс Борн считал Лоренца «...лидером и ярким представителем того периода физики, который, в отличие от сегодняшнего, мы называем классическим в этой области науки и который завершился недавними революционными открытиями в первом десятилетии нашего века»3.

Незадолго до своей смерти Эйнштейн в 1955 г. писал: «На переломе столетия физики-теоретики всех стран относились к Лоренцу как к признанному главе, и это было в высочайшей степени оправданно. Однако впоследствии никто из физиков следующего поколения, как правило, не представлял себе в полной мере ту определяющую роль, которую сыграл Лоренц в разработке фундаментальных принципов теоретической физики. Причина этого удивительного факта состоит в том, что они впитали в себя фундаментальные идеи Лоренца настолько глубоко, что им даже трудно было представить себе всю смелость этих идей и те кардинальные упрощения, которые внесли эти идеи в самые основы физической науки» (1, стр. 5).

Лоренц разделил Нобелевскую премию 1902 г. со своим студентом Зееманом. Мошь его аналитических способностей можно проиллюстрировать рассказом Борна о работе, за которую Лоренц и Зееман были удостоены Нобелевской премии: Лоренц узнал об эффекте, открытом Зееманом и получившем его имя, из доклада Зеемана на собрании Амстердамской Академии, состоявшемся в последнее воскресенье октября 1896 г. На следующий день Лоренц выступил с докладом, в котором он дал объяснение этому эффекту, включая и предсказание поляризации «зеемановских спектральных линий» (3, стр. 72).

развитием им электронной теории в применении к телам, совершающим равномерное относительное движение, и противоречиями между этой теорией и специальной теорией относительности Эйнштейна \*). В другом месте я писал <sup>7,8</sup>, что теорию Лоренца нельзя рассматривать ни как предшественницу теории Эйнштейна, ни как ее предвестницу. С этой целью мне кажется полезным привести собственные высказывания Лоренца по поводу специальной теории относительности и ее отношения к его собственной теории.

# I. ТЕОРИЯ ЛОРЕНЦА В ПРИЛОЖЕНИИ К СИСТЕМАМ, ДВИЖУЩИМСЯ ДРУГ ОТНОСИТЕЛЬНО ДРУГА

С самого начала творческого пути Лоренц поставил перед собой программу достичь единства в структуре физической науки. На этом пути он предпринял попытку объединить идеи Френеля \*\*) о взаимодействии эфира и вещества с максвелловским описанием электромагнитных явлений и с «атомистическими воззрениями» на электричество Вебера и Клаузиуса <sup>9</sup>.

По существу, первым звеном в этой цепи исследований, потребовавшей всей жизни Лоренца, была его докторская диссертация, посвященная отражению и преломлению света, законченная им в 1875 г. Согласно Борну \*\*\*), этой диссертацией Лоренц решительно вмешался в спор о природе эфира. Показав, что невозможно подавить продольные волны, появляющиеся в любой модели эфира, считающей его упругим и твердым, Лоренц высказался в пользу электромагнитного эфира, пусть даже с весьма неопределенными свойствами, за исключением одного — того, что через него могут передаваться электромагнитные влияния \*\*\*\*).

Тремя годами позже, в 1878 г., Лоренц опубликовал работу по дисперсии, в которой сделал решительный шаг в сторону с пути своих предшественников. В этой работе Лоренц предположил, что эфир одинаков как внутри, так и вне вещества, иными словами, что вещество просто не влияет на эфир. Согласно Лоренцу, световые волны, движущиеся сквозь эфир, приводят ионы в колебания, тем самым возбуждая бесчисленные малые вторичные волны. Эти волны, благодаря интерференции друг с другом и с первичными волнами, изменяют свою форму таким образом, что наблюдаемая скорость их распространения начинает зависеть от частоты света, вызывая тем самым явление дисперсии. Основываясь на этом

---

Отметим также другие работы Лоренца. Помимо разработки электронной теории в применении к описанию явлений в движущихся телах, он также использовал эту теорию для объяснения электропроводности и теплопроводности металлов, отражения и преломления света и ряда других физических явлений <sup>4</sup>. Лоренц также занимался фундаментальными вопросами кинетической теории газов. Среди других его занятий можно упомянуть надзор за сооружением дамбы в Зюйдерзее (<sup>1</sup>, стр. 129). Имя и репутация Лоренца были столь высоки, что голландский телеграф объявил три минуты молчания в полдень того дня, когда состоялись похороны Лоренца (<sup>1</sup>, стр. 150 и д.).

\*) Уже после написания настоящей работы мое внимание привлекла посвященная той же теме брошюра Шаффнера <sup>5</sup>. Направленность обеих этих работ и сделанные в них заключения несколько отличаются друг от друга. Соответствующие примечания я добавлю в сносках. Настоящая работа представляет собой переработанный раздел докторской диссертации автора <sup>6</sup>, первый вариант которой был написан в январе 1967 г.

\*\*) Стоит заметить, что Лоренц из всех своих предшественников отдавал наибольшую дань уважения Френелю. См. <sup>1</sup>, стр. 32; <sup>5</sup>, стр. 10.

\*\*\*) М. Борн <sup>2</sup>, стр. 69. Диссертация Лоренца опубликована в <sup>10</sup>.

\*\*\*\*) См. предыдущую сноску. Обзор различных моделей упругого эфира можно найти в <sup>11</sup> (особенно см. т. I, гл. 5, 9) и в <sup>12</sup>.

положении, Лоренц получил соотношение между плотностью диэлектрической среды и ее показателем преломления. Однако в этой работе для нас наиболее существенно другое: проведенный в ней анализ основывался на предположении об абсолютной неподвижности эфира \*).

### А. Теория Лоренца 1892 г.

Эти три допущения, а именно что на эфир не влияет вещество, что эфир не принимает участия в движении вещества \*\*) и что эфир следует считать лишенным физических свойств, легли в основу электронной теории Лоренца, развитой им в ряде работ, публиковавшихся начиная с 1892 г. Мы ограничимся теми аспектами этой теории, которые имеют отношение к электродинамике движущихся тел \*\*\*).

Лоренц начинает свою работу 1892 г. с проведения четкого различия между эфиром и веществом. В отличие от своих английских коллег, он не наделяет эфир какими-либо конкретными свойствами \*\*\*\*):

«Я буду называть веществом все то, что может принимать участие в электрических токах, электрических смещениях и электромагнитных движениях. Термин эфир будет применяться ко всему, не являющемуся весомой материей»<sup>9</sup>.

Сказав, что представляется целесообразной разработка теории, в которой весомая материя была бы полностью проницаемой для эфира, а эфир — абсолютно неподвижным, Лоренц отмечает, что на этом пути необходимо преодолеть ряд трудностей. Прежде всего, как можно представлять себе тело, которое перемещается в эфирном океане, т. е. движется через светонесущую среду, и в то же время является источником электрических токов и электрических смещений? Иными словами, как подобная теория будет способна провести различие между проводниками и изоляторами? Для преодоления этого затруднения Лоренц решил свести все явления

«к одному, наиболее простому, которое есть не что иное, как движение заряженных тел. Можно видеть, что, не исследуя детально взаимоотношений между весомой материей и эфиром, все же удастся установить систему уравнений, которая и описывает события в системе таких частиц... Все весомые тела состоят из множества маленьких положительно или отрицательно заряженных частиц, и электрические явления порождаются смещением этих частиц. Согласно такому представлению электрический заряд образуется избытком частиц с определенным знаком заряда, а электрический ток есть действительное течение этих корпускул, так что в весомом изоляторе возникает «диэлектрическое смещение», когда находящиеся в нем электрические частицы смещаются из своих положений равновесия»<sup>9</sup>, стр. 70).

Лоренц отмечает, что высказанное им предположение вовсе не является таким уж большим шагом вперед. По его мнению, существует некоторая аналогия этой идеи со старыми идеями об электрических жидкостях. Однако Лоренц выражает надежду, что его концепция может соединить

\*) М. Борн<sup>3</sup>, стр. 70. Соотношение между показателем преломления и плотностью известно под названием формулы Лоренца — Лоренца.

\*\*) Следует заметить, что предположение об абсолютно неподвижном эфире первым высказал Френель.

\*\*\*). В частности, мы проанализируем работы<sup>9, 13, 14</sup>. Последняя из них была первоначально опубликована на датском языке в<sup>15</sup>. Статья<sup>14</sup> была перепечатана в книге<sup>16</sup>. Все дальнейшие ссылки — по последнему изданию этой книги. См. также<sup>11</sup>, гл. 13.

\*\*\*\*) О некоторых высказываниях английских физиков по поводу природы эфира см<sup>31</sup>.

эти старые идеи с идеями Максвелла и тем самым приведет к установлению фундаментальных законов, сравнимых по своему значению с законами Вебера и Клаузиуса (<sup>9</sup>, стр. 71).

Оба названных Лоренцем ученых разработали теории электричества, основанные на предположении об атомности электричества. Силы, действующие в обеих теориях между «атомами электричества», были результатом взаимодействия самих атомов, без участия какой бы то ни было промежуточной среды, и зависели только от взаимного расположения, скоростей и ускорений частиц \*). Лоренц, исходя из своего представления об эфире и желая объединить разрозненные понятия физики электричества в рамках теории Максвелла, предположил, что заряженные частицы взаимодействуют с эфиром, вызывая в нем возмущения, которые в свою очередь влияют на окружающие частицы:

«Формулы, ...которые мы выписали, позволяют вычислить силу, с которой эфир действует на какую-либо одну из частиц. Если эта сила зависит от движения других частиц, то только потому, что это движение изменяет состояние эфира; далее, значение силы в некоторый момент времени не будет определяться скоростями и ускорениями этих малых частиц в тот же самый момент времени; это значение должно скорее определяться теми движениями, что совершались в предшествующие моменты» (<sup>9</sup>, стр. 71).

Из этого видно, что Лоренц радикально отходит от своих предшественников: с одной стороны, Максвелл ни в какой из опубликованных его работ не делал каких-либо предположений о природе электричества или эфира, а с другой стороны, ни Вебер, ни Клаузиус не использовали эфир в своих теориях. Обе последние теории основывались на концепции дальнего действия.

Из прочих допущений, сделанных Лоренцем в его работе 1892 г., можно упомянуть следующие: «электрические» частицы считаются принадлежащими весовой материи, и эфир проникает внутрь частиц (<sup>9</sup>, стр. 70—73). В этой работе Лоренц рассматривает заряженные частицы как абсолютно твердые тела, которые могут совершать лишь поступательное или вращательное движение. Он также основывается как на фундаментальной гипотезе на уравнениях Максвелла, записывая их, однако, в привычной нам теперь форме, что лишний раз свидетельствует об оригинальности лоренцевой теории электричества:

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{div} \mathbf{D} &= \rho \left\{ \begin{aligned} \frac{\partial f}{\partial x} + \frac{\partial g}{\partial y} + \frac{\partial h}{\partial z} &= \rho \text{ (внутри заряженной частицы),} \\ \frac{\partial f}{\partial x} + \frac{\partial g}{\partial y} + \frac{\partial h}{\partial z} &= 0 \text{ (вне заряженной частицы),} \end{aligned} \right. \\ \operatorname{div} \mathbf{B} &= 0, \left\{ \frac{\partial \alpha}{\partial x} + \frac{\partial \beta}{\partial y} + \frac{\partial \gamma}{\partial z} = 0 \right\} \\ \operatorname{rot} \mathbf{B} &= 4\pi \left( \rho \mathbf{v} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \right) \left\{ \frac{\partial \gamma}{\partial y} - \frac{\partial \beta}{\partial z} = 4\pi \left( \rho v_x + \frac{\partial f}{\partial t} \right) \text{ и т. д. } \right\}, \\ \operatorname{rot} \mathbf{E} &= -\frac{1}{4\pi c^2} \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \left\{ 4\pi c^2 \left( \frac{\partial g}{\partial z} - \frac{\partial h}{\partial y} \right) = \frac{\partial \alpha}{\partial t} \text{ и т. д. } \right\}, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где  $f, g, h$  — компоненты вектора электрического смещения;  $v_x, v_y, v_z$  — компоненты скорости «электрических» частиц;  $\alpha, \beta, \gamma$  — компоненты вектора магнитной «силы» и  $\rho$  — плотность заряда (<sup>9</sup>, стр. 90).

Уравнения Максвелла достаточны для определения состояния эфира в любой точке в произвольный момент времени; вместе с тем они недостаточны для описания всех электромагнитных явлений, в частности, они

\*) Подробное изложение теорий Вебера и Клаузиуса см. в <sup>11</sup>, стр. 201 и д.

не дают способа определить электромагнитные силы в системе заряженных частиц. И Вебер, и Клаузиус нашли законы, описывающие эти силы, действующие между «атомами электричества», в зависимости от расстояния между частицами, их скоростей и ускорений. Однако выражения этих законов имели чрезвычайно сложный вид и вместе с тем не зависели от поля, т. е. не включали члены, соответствующие эфиру (<sup>11</sup>, стр. 200 и д.). Используя вариационные методы, Лоренц смог получить, и притом в исключительно простой форме, выражение для силы, с которой поле действует на заряженные частицы, — широко известной ныне под названием лоренцевой силы (<sup>9</sup>, стр. 81 и д.).

Затем Лоренц применил эти фундаментальные соображения к различным электрическим явлениям, в том числе к электростатике, законам электрического тока, электромагнитной индукции, распространению света в неподвижном диэлектрике и в движущихся средах (<sup>9</sup>, стр. 93 и д.). Мы остановим свое внимание на последнем из этих вопросов.

Рассмотрим движущийся диэлектрик. В теории Лоренца такой диэлектрик состоит из положительно и отрицательно заряженных ионов. (Впоследствии отрицательные ионы Лоренц отождествил с электронами.) Лоренц смог показать, что в случае диэлектрика можно ввести диэлектрическую постоянную, связанную со степенью поляризации зарядов (<sup>9</sup>, стр. 112 и д.). Эту концепцию Лоренц приложил к случаю движущегося диэлектрика; это позволило ему сформулировать электродинамику движущихся тел. В частности, высшим достижением этой работы явился вывод френелевского коэффициента увлечения для движущихся сред. А именно, если среда движется относительно некоторого наблюдателя со скоростью  $v$ , то скорость света в ней в направлении ее движения должна возрастать на величину  $v(1 - 1/n^2)$ , где  $n$  — показатель преломления среды. Лоренц получил выражение для этой величины на основе описанной выше модели, пренебрегая членами с  $v/c$  во второй и более высоких степенях (<sup>9</sup>, стр. 112 и д.).

#### Б. Работа Лоренца 1895 г. и завершение теории первого порядка по $v/c$

Тремя годами позже, в 1895 г., Лоренц снова занялся проблемой электродинамики движущихся тел <sup>12</sup>. В этой работе он попытался упростить теорию и в то же время распространить ее на еще более широкий круг явлений. Как и в предыдущей работе 1892 г., Лоренц исходил из концепции абсолютно неподвижного эфира, но его требования, касающиеся неподвижности эфира, стали несколько менее жесткими:

«Само собою разумеется, что не может быть и речи об *абсолютно* покоящемся эфире: такое утверждение совершенно бессмысленно. Когда я говорю для краткости о покоящемся эфире, я имею в виду лишь то, что одна его часть не смещается относительно другой и что все возможные движения весомых тел совершаются относительно эфира» (<sup>13</sup>, стр. 40).

И Лоренц отказывается от каких бы то ни было спекуляций по поводу природы эфира.

Упрощение теории было достигнуто путем введения в нее нового уравнения преобразования. До сих пор Лоренц при описании явлений в системе отсчета, движущейся относительно эфира, использовал галилеевы преобразования. Иными словами, он предполагал, что уравнения Максвелла остаются справедливыми и в системе отсчета, неподвижной по отношению к эфиру («эфирной» системе). В любой другой системе отсчета форму уравнений Максвелла следовало изменить. Тот факт, что

все попытки измерить скорость Земли по отношению к эфиру в экспериментах первого порядка по  $v/c$  \*) потерпели неудачу, Лоренц интерпретировал как указание на то, что описание явлений в системе отсчета, отличающейся от неподвижной относительно эфира, должно быть таким же, как и в «эфирной» системе, по крайней мере в теории первого порядка по  $v/c$ . Наиболее прямым способом учесть этот факт должно было бы стать введение принципа относительности в приближении первого порядка. То, что на этот раз такого не случилось, отражает тот факт, что Лоренц ни разу не употребил слов «принцип относительности» в своих работах вплоть до появления статьи Эйнштейна в 1905 г. (<sup>13</sup>, стр. 19 и д.).

Новое преобразование касалось измерения времени в системе отсчета, движущейся относительно «эфирной» системы. Согласно принципу относительности Галилея измеренные в обеих системах интервалы времени должны были быть инвариантными. Преобразование, предложенное Лоренцом, имело вид

$$t' = t - \frac{vx}{c^2},$$

где  $v$  — скорость движения системы отсчета относительно эфира и  $x$  — координата той точки в движущейся системе, в которой произведено измерение времени. Это трансформационное уравнение уже лишает инвариантности результат измерения времени (<sup>13</sup>, стр. 49; <sup>5</sup>, стр. 14, 15).

Хотя Лоренц сделал чрезвычайно смелый и решительный шаг вперед, он сам на удивление мало говорил о том резком отличии от общепринятой точки зрения, к которому приводило новое уравнение преобразования. Он называл время  $t'$  «локальным временем» (Ortzeit) в отличие от «всеобщего» или «истинного» времени (allgemeine Zeit) (<sup>13</sup>, стр. 14, 15). Иными словами, в тот период Лоренца мало занимал смысл этого преобразования, и он явно не считал, что оно нечто большее, чем удобный вычислительный прием. Однако, когда новой совокупности преобразований были подвергнуты уравнения Максвелла, они не изменили своего вида, по крайней мере в приближении первого порядка по  $v/c$  (<sup>13</sup>, стр. 82 и д.). Это и оказался тот самый результат, который был установлен экспериментально. Используя новое преобразование для времени, Лоренц смог вывести выражение для френелевского коэффициента увлечения значительно проще, чем в работе 1892 г. (<sup>13</sup>, стр. 96, 97). Кроме того, теперь Лоренц смог охватить своей теорией электронов все другие эффекты первого порядка по  $v/c$  (<sup>13</sup>, стр. 83—114).

Если считать эту работу Лоренца 1895 г. предшественницей теории относительности, как это делает ряд авторов, или по крайней мере основной из тех работ, которые использовал Эйнштейн при разработке своей теории \*\*), то в упомянутой работе можно было бы ожидать найти хоть какую-нибудь формулировку принципа относительности. Но этой формулировки в ней нет. Причина этого чрезвычайно проста. В теории Лоренца принцип относительности справедлив не строго, а только в приближении первого порядка по  $v/c$ . Тогда можно было еще надеяться обнаружить эффект движения Земли относительно эфира в экспериментах, достаточно чувствительных для регистрации эффектов второго порядка по  $v/c$ .

Как мы далее покажем, принцип относительности не является важным для теории Лоренца. Необходимо, чтобы этот принцип удовлетворялся,

\*) Тот факт, что и эксперименты второго порядка по  $v/c$  не обнаружили движения Земли относительно эфира, будет обсуждаться ниже.

\*\*) См. <sup>11</sup>, т. 2, стр. 27 и д., а также <sup>18</sup>. В работе <sup>7</sup> я подробно рассмотрел аргументацию Уиттекера и Кесвани. См. также <sup>31</sup> и <sup>19</sup>.

поскольку этого как будто требует эксперимент, но до 1905 г. Лоренц не уделял этому достаточно внимания, хотя ему и были известны пожелания других ученых, чтобы его теория удовлетворяла этому принципу. Первым, кто высказал эту мысль, был Анри Пуанкаре (<sup>17</sup>, см. также <sup>8</sup>).

### В. Признание неполноты теории 1895 г.

Лоренцу было хорошо известно, что уже было проведено несколько экспериментов второго порядка для измерения движения Земли относительно эфира и что результаты этих опытов оказались отрицательными. Действительно, последняя глава его монографии 1895 г. озаглавлена: «Исследования, результаты которых невозможно объяснить без дополнительных положений» <sup>13,20,5</sup>.

Среди экспериментов, перечисленных Лоренцем в этой главе, назван опыт по вращению плоскости поляризации света при различной ориентации оптически активных кристаллов. Согласно теории Лоренца следовало ожидать разных результатов опыта в случае света, проходящего через кристалл в направлении, совпадающем с направлением движения Земли, и в перпендикулярном ему. Опыты, поставленные Маскаром <sup>21</sup>, не обнаружили ожидаемого эффекта \*).

Другим из упоминаемых Лоренцем экспериментов, на который он, несомненно, обратил наибольшее внимание, был опыт Майкельсона — Морли <sup>22</sup>. Лоренц отметил, что нулевой результат этого опыта нельзя объяснить, просто предположив, что Земля в своем движении полностью увлекает эфир, поскольку такое допущение будет противоречить гипотезе частичного увлечения эфира, которая объясняет большинство других экспериментальных результатов (<sup>13</sup>, стр. 121, 122). Как известно, Лоренц предпочел повторить высказанное им тремя годами ранее предположение, что плечо интерферометра сокращается в направлении движения его вместе с Землей ровно настолько, чтобы скомпенсировать разницу во времени прихода световых волн, распространяющихся вдоль и против направления движения Земли и движущихся перпендикулярно этому направлению (<sup>13</sup>, стр. 122 и д.). Лоренцу было известно, что ту же гипотезу высказал и Фитцджеральд (<sup>13</sup>, стр. 122; см. также <sup>5,23,24</sup>). Среди части физической общественности существовало серьезное опасение по поводу того, что это гипотеза *ad hoc* \*\*).

И сам Лоренц не был свободен от сомнений. Он пытался найти что-либо такое, что можно было бы считать естественным оправданием введение этой гипотезы:

«Сколько ни странной может показаться эта гипотеза на первый взгляд, тем не менее следует признать, что она не слишком далека от истины, если только предположить, что эфир вмешивается даже в молекулярные силы, насколько мы можем сегодня утверждать это в отношении электрических и магнитных сил. Но если это так, то поступательное движение будет весьма вероятно изменять взаимодействие между двумя молекулами или атомами аналогичным образом, подобно притяжению или отталкиванию между заряженными частицами. Тогда, поскольку форма и размеры жесткого тела определяются

\* ) Цитировано Лоренцем в работе <sup>13</sup>, стр. 119.

\*\* ) Пуанкаре был особенно осторожным, но и он все же полагал, что такая гипотеза «естественная»; см. <sup>8</sup>.

в конечном счете интенсивностью молекулярного взаимодействия, изменения размеров нельзя будет обнаружить» \*).

Следующее высказывание Лоренца делает совершенно ясным, что ему такое объяснение казалось вполне разумным:

«С теоретической точки зрения, таким образом, эта гипотеза как будто бы не встречает никаких возражений. Имея в виду ее экспериментальную проверку, прежде всего следует заметить, что соответствующие удлинения и сокращения необычайно малы. Ведь  $v^2/c^2$  составляет  $10^{-8}$ ... Длина лежащего метрового стержня, если его поставить вертикально, должна была бы измениться всего лишь на  $1/200$  долю микрона. Чтобы уловить столь малую величину, успеха можно было бы добиться лишь с помощью интерференционного метода» (<sup>13</sup>, стр. 124; <sup>5</sup>, стр. 11).

Однако Лоренц тут же отмечает, что любой подобный измерительный прибор должен быть эквивалентен интерферометру и тем самым испытает такие же изменения длин, как и измеряемый с его помощью «майкельсоновский» интерферометр. Следовательно, эффект сокращения размеров нельзя обнаружить (<sup>13</sup>, стр. 124).

Г. В поисках теории второго порядка по  $v/c$ .  
1895—1904 гг.

Вплоть до 1904 г. работа Лоренца 1895 г. была главным его шагом в построении электродинамики движущихся тел \*\*). Этот период примечателен в ряде отношений. Во-первых, Лоренц не намеревался строить теорию, которая включала бы в себя «принцип относительности»; действительно, он все еще не сомневался в существовании эффектов второго порядка по  $v/c$  при движении Земли сквозь эфир. То, что подобного рода эксперименты по наблюдению увлечения эфира не обнаружили ожидаемого эффекта, не побудило Лоренца к введению этого принципа ни как постулата, ни как эмпирического положения. На этом этапе Лоренц, по-видимому, интересовался лишь переделкой максвелловской континуальной теории в его электронную теорию, которая должна была бы объяснять взаимодействие вещества и эфира таким образом, чтобы можно было сохранить эфир Френеля и френелевский коэффициент его увлечения.

В 1904 г. Лоренц одновременно с Пуанкаре пришел к выводу, что вся масса электрона имеет электромагнитное происхождение <sup>7</sup>. Никакого следа этой мысли не найти в лоренцовской работе 1895 г. В самом деле, до 1900 г. Лоренц не собирался обобщить вывод о «лоренцовом сокращении», сделанный им для макроскопических масс вещества, на сами электроны (<sup>25</sup>, стр. 80). Концепции местного времени и сокращения размеров были введены ad hoc, первая — для того, чтобы облегчить объяснение

\*) См.<sup>13</sup>, стр. 123, 124; <sup>5</sup>, стр. 11. Шаффнер утверждает, что гипотеза «лоренцова сокращения» не есть гипотеза ad hoc в том смысле, что Лоренц выдвинул рациональное объяснение сокращению размеров, которое вытекает совершенно естественно из его теории строения материи. Однако следует заметить, что Лоренц сначала усмотрел необходимость во введении такого сокращения и затем стал отыскивать подтверждения этому. И хотя он часто говорил о возможности понять сокращение как следствие изменения молекулярных сил, в его бумагах, насколько мне известно, нигде не удалось обнаружить *действительного* расчета этого явления.

\*\*) В 1900 г. Лоренц опубликовал короткую заметку <sup>25</sup>, в которой выдвинул без доказательства предположение, что, возможно, масса и форма электрона должны меняться по мере того, как его скорость приближается к скорости света. Шаффнер (<sup>6</sup>, стр. 16) отмечает, что в 1899 г. Лоренц опубликовал упрощенный вариант работы 1895 г., который содержал в зародыше основные идеи работы 1904 г.



явлений первого порядка по  $v/c$ , вторая — с абсолютной необходимостью — для объяснений явлений второго порядка по  $v/c$ .

В 1900 г. Лоренц познакомился с работой, опубликованной в «Naturforscherversammlung», которая натолкнула его на мысль о возможном расширении рамок предшествующей работы. Речь шла об экспериментах с катодными лучами. Отметив, что эти опыты позволяют измерить отношение заряда к массе электрона, Лоренц задает вопрос: «Какой смысл мы вкладываем в понятие массы?»:

«В любом случае мы должны приписать иону кажущуюся массу, поскольку его движение сообщает некоторую энергию эфиру... Вопрос о том, существует ли помимо кажущейся также истинная масса иона, является исключительно важным; здесь мы соприкасаемся с вопросом о связи между весомой материей, эфиром и электричеством. *Я очень далек от того, чтобы принять какое-либо решение по этому вопросу*» (курсив мой. — С. Г.) (25, стр. 78, 79).

Лоренц, однако, полагает, что можно было бы поставить такие эксперименты, которые дали бы ответ на этот вопрос. Прежде всего, это опыт с вращением электрона в магнитном поле. Если существует только кажущаяся масса, то момент инерции электрона должен быть меньше, чем если бы существовала также истинная «гравитационная» масса. Но, с огорчением пишет Лоренц:

«К сожалению, я не могу найти какие-нибудь явления, из которых можно было бы что-нибудь заключить о таком вращении» (25, стр. 80).

Второй из возможных опытов, предложенных Лоренцем, был уже на грани осуществления. Если ускорить электрическим полем электроны до скоростей, близких к скорости света, и затем искривить их путь магнитным полем, то кривизна их траектории должна, в частности, определяться массой электронов. Сравнивая предсказываемую и измеренную в опыте кривизну, можно установить, до какой степени масса электрона является «собственной» (self-induced \*).

Высказывания Лоренца делают совершенно ясным, что он еще не был готов утверждать, что вся масса электрона имеет электромагнитное происхождение. Он постулирует электрон в виде жесткой сферы, хотя сам же намекает, что форма электрона может изменяться при его движении. Короче говоря, Лоренц колеблется, вводить ли ему какие-либо соображения о природе вещества в качестве фундаментальной основы для объяснения всей совокупности физических явлений (25, стр. 80).

В годы, последовавшие за появлением работ Лоренца 1895 и 1900 гг., произошло несколько важных событий, которые в сильнейшей степени повлияли на его работу 1904 г. Прежде всего, Анри Пуанкаре, уделявший в эти годы много внимания теории электромагнетизма и электродинамике движущихся тел, значительную долю его посвятил теории Лоренца (см. 7). В начале 900-х годов Пуанкаре начал высказываться по поводу «принципа относительности», который он считал эмпирическим принципом, утверждавшим, что все физические законы должны быть одинаковыми для наблюдателей в разных инерциальных системах отсчета. Он настаивал, чтобы Лоренц, во-первых, включил этот принцип в свою теорию и, во-вторых, переформулировал ее таким путем, чтобы освободиться в ней от уже упоминавшихся гипотез *ad hoc* 8.

\*) См. 25, стр. 80, Лоренц не обнаруживает знакомства с экспериментальной работой Кауфмана по этому вопросу. Кауфман начал публиковать свои данные в 1901 г.; см. 6, гл. 2.

Затем Кауфман начал публиковать результаты своих экспериментов по определению массы электрона. Первое время считалось, что эти данные вполне надежны для оценки массы медленных электронов (<sup>6</sup>, гл. 2).

Наконец, в 1902 г. появилась теория Макса Абрагама, основанная на представлении об абсолютно твердом электроны <sup>26</sup> (см. также <sup>7</sup>, гл. I). Используя это представление, Абрагам попытался провести полный расчет изменения массы электрона на базе электромагнетизма. По существу, Абрагам попытался подвести механистическое основание под электродинамику и совместно с Кауфманом пришел к выводу, что данные последнего находятся в достаточно хорошем согласии с теорией Абрагама, что придает весьма большое правдоподобие допущениям, сделанным в этой теории <sup>26, 6</sup>.

#### Д. Теория второго порядка по $v/c$

В 1904 г. Лоренц опубликовал свой окончательный вариант теории второго порядка по  $v/c$ . Его работа «Электромагнитные явления в системе, движущейся с произвольной скоростью, меньшей скорости света», как он говорил, была не только необходимой в свете незадолго до того поставленных опытов второго порядка по увлечению эфира, но и, кроме того, «Пуанкаре имел возражения против существующей теории электрических и оптических явлений в движущихся телах; чтобы объяснить отрицательный результат опыта Майкельсона, потребовалась новая гипотеза, и введение подобного рода гипотез могло стать необходимым каждый раз, когда на сцену выходили бы новые факты. Разумеется, объяснять новые экспериментальные результаты, придумывая каждый раз специальные гипотезы, — довольно искусственный прием. Более удовлетворительным, если это вообще возможно, было бы использовать немногие основные допущения и, не пренебрегая членами того или иного порядка величины, показать, что многие электромагнитные действия совершенно не зависят от движения системы... Я полагаю, что ныне возможно рассмотреть этот вопрос с лучшими результатами» (<sup>16</sup>, стр. 13).

Лоренц начинает свою работу с нескольких допущений. Прежде всего, он предполагает справедливость уравнений Максвелла в системе отсчета, покоящейся относительно наблюдателя. Затем он постулирует систему уравнений преобразования

$$\left. \begin{aligned} x' &= k\gamma (x - vt), \\ y' &= ky, \\ z' &= kz, \\ t' &= k\gamma \left( t - \frac{\beta^2}{v} x \right), \end{aligned} \quad \begin{aligned} \gamma &= (1 - \beta^2)^{-1/2}, \\ \beta &= v/c, \\ k &= 1, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

которые должны оставлять уравнения Максвелла неизменными в инерциальных системах отсчета. На самом деле в работе Лоренца 1904 г. фигурирует одиннадцать допущений:

«...Великая работа Лоренца, которая появилась... [в 1904 г.] и представляла собой наилучшую работу в области физики того времени, — работа, декларировавшая, что она основана не на «специальных гипотезах», а на «фундаментальных допущениях», — в действительности содержала одиннадцать гипотез *ad hoc*: ограничение скоростями  $v$ , малыми по сравнению со скоростью света  $c$ ; априорное постулирование трансформацион-

ных уравнений (вместо того чтобы их вывести из других постулатов); предположение о неподвижности эфира; предположение о том, что неподвижный электрон имеет форму сферы; что его заряд однородно распределен; что вся его масса имеет электромагнитное происхождение; что движущийся электрон меняет один из своих размеров точно в отношении  $1/(1 - v^2/c^2)^{1/2}$  к другим размерам; что силы, действующие между незаряженными частицами и между заряженной и незаряженной частицами, имеют одинаковые трансформационные свойства, как, например, электростатические силы в электростатической системе; что все заряды в атоме состоят из определенного числа отдельных «электронов»; что на каждый из них действуют только другие заряды в том же самом атоме и что движущиеся атомы в целом деформируются так же, как и составляющие их электроны» (<sup>19</sup>, стр. 630).

Используя эту совокупность гипотез, Лоренц смог, в частности, предсказать значения массы электрона, которые оказались зависящими от его скорости. Лоренц показал, что электрон обладает двумя массами: так называемой «поперечной массой», перпендикулярной к направлению ускоряющей силы и равной  $m = m_0 (1 - v^2/c^2)^{-1/2}$ , и «продольной массой», равной  $m = m_0 (1 - v^2/c^2)^{-3/2}$ , где  $m_0$  — масса покоящегося электрона \*). В заключение своей работы (<sup>14</sup>, стр. 31—34) Лоренц указывает, что его теория согласуется как с данными Кауфмана, так и с теорией Абрагама.

В сентябре следующего, 1905 г. из печати вышла первая статья Эйнштейна по специальной теории относительности <sup>27</sup>, направленная в журнал в июне того же года. Результаты, полученные Эйнштейном, формально совпадали с результатами Лоренца \*\*). И Эйнштейн и Лоренц использовали «лоренцовы преобразования», но Эйнштейн вывел их из основного принципа, тогда как Лоренц лишь постулировал их. В результате весьма различным оказался и тот смысл, который каждым из них приписывался членам в трансформационных уравнениях. Как я уже говорил в другом месте <sup>7,8</sup>, Эйнштейн создал теорию измерения, которая начинается с анализа измерений времени, в частности измерения одновременных событий \*\*\*). В отличие от него, Лоренц хотел спасти классическую физику и классическое понятие времени. Холтон следующим образом характеризует различия между работами Лоренца и Эйнштейна:

«Работу Лоренца можно в некоторых отношениях рассматривать как подвиг необычайно храброго капитана, спасающего изношенный корабль, налетевший на скалы экспериментальных фактов. Работа же Эйнштейна, далекая от того, чтобы явиться непосредственным теоретическим откликом на неожиданные экспериментальные результаты, является творческим актом освобождения от иллюзий: вместо того, чтобы спасти тонущий корабль, он пересаживается на другой, совершенно новый» (<sup>30</sup>, стр. 69).

В самом деле, Эйнштейн почти наверняка не знал, публикуя свою статью, о существовании работы Лоренца (<sup>30</sup>, стр. 68).

\*) См. <sup>14</sup>, стр. 24. Теория Абрагама 1902 г. также предсказывала продольную и поперечную массы.

\*\*) Результат Лоренца для преобразования плотности заряда неверен; он был исправлен Пуанкаре <sup>28</sup>.

\*\*\*) Холтон <sup>29</sup> указывает, что понятие «события» есть ключевой момент работы Эйнштейна.

Поскольку в последующем теория Лоренца модернизировалась незначительно, его статью 1904 г. можно считать последней попыткой создать теорию второго порядка по  $v/c$ . Прежде чем в полной мере оценить позицию, занятую Лоренцом по отношению к теории Эйнштейна, следует сделать несколько заключений по поводу его собственной теории.

Во-первых, как заметил Холтон, в этой работе Лоренца нет никаких формулировок принципа относительности<sup>19</sup>. Как я уже говорил, Лоренц не уделял этому принципу заметного внимания во всех своих работах вплоть до 1905 г. Для его теории необходимым было лишь утверждение об очевидной невозможности обнаружить движение Земли сквозь эфир. Это утверждение фигурировало в теории Лоренца в виде замечательной взаимной компенсации эффектов, в частности сокращения размеров движущихся тел и в *кажущемся* постоянстве скорости света для всех наблюдателей<sup>16</sup>, стр. 28, 29). Последний эффект есть *результат* постулированных им уравнений преобразования<sup>16</sup>. В теории же Эйнштейна постулатом является как раз постоянство скорости света для всех инерциальных наблюдателей, которое совместно с принципом относительности приводит к трансформационным уравнениям.

Во-вторых, хотя уравнения преобразования Лоренца фигурируют в обеих теориях, эти уравнения в них имеют различный смысл. Согласно первой из них «лоренцово сокращение» первично, оно — реальное явление, объяснимое через взаимодействие молекул<sup>5, 13</sup>. Согласно же теории Эйнштейна «лоренцово сокращение» есть артефакт, иллюзорный результат измерения, связанный с тем, что наблюдатели в различных системах отсчета не договорились о том, как проводить измерения.

В-третьих, согласно Лоренцу растяжение времени и относительность одновременности не есть реальные эффекты; в частности, преобразование времени есть не более как вычислительный прием (*mathematische Hilfsmittel*)<sup>16</sup>, стр. 15). Согласно же Эйнштейну в реальности этого явления нет сомнений; результаты измерения интервалов времени имеют одинаковую силу во всех инерциальных системах отсчета.

В-четвертых, теории Лоренца присущи некоторые внутренние противоречия. Хотя в 1900 г., как мы видели, Лоренц уже не утверждал, что вся масса деформирующегося электрона имеет электромагнитное происхождение, в 1904 г. он вновь вернулся к этой идее<sup>13</sup>, стр. 24). И это в то время, когда Абрагам уже показал, что такой деформирующийся электрон для сохранения своей устойчивости и формы требует введения сил неэлектромагнитной природы<sup>32</sup>. Пуанкаре, со своей стороны, предположил, что сам эфир оказывает внешнее давление на лоренцовский электрон<sup>7</sup>. Лоренц не смог бы ответить на критику Абрагама: пока электрон оставался деформируемым в лоренцовском смысле, т. е. пока его нельзя было считать абсолютно твердым телом\*), до тех пор для сохранения «целостности» электрона действительно необходимо было введение сил, отличающихся от электромагнитных. В теории Эйнштейна деформация электрона, равно как и все подобные ей деформации, есть артефакт и потому не требует привлечения динамики для своего объяснения.

---

\*) От представления об абсолютной твердости, как и от представления об абсолютном времени, приняв теорию относительности, приходится отказаться. Абсолютно твердый стержень должен был бы мгновенно передавать смещение, возникшее на одном его конце, на другой конец. Теория относительности же требует, чтобы передача этого смещения происходила с групповой скоростью, не превышающей скорости света. Обсуждение вопроса о развитии концепции жесткости после появления первой статьи Эйнштейна в 1905 г. см. в<sup>6</sup>, гл. 2.

II. ПОЗИЦИЯ ЛОРЕНЦА ПО ОТНОШЕНИЮ К ТЕОРИИ  
ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ ЭЙНШТЕЙНА

Как писал Уиттекер (<sup>11</sup>, т. 2, стр. 36), убеждение Лоренца в правильности представления об абсолютном времени и о независимости пространственных и временных переменных осталось неизменным до конца его жизни. Однако было бы несправедливым по отношению к Лоренцу, с его огромной мощью интеллекта, заключить, что он, доведший классическую физику до своего логического предела, просто отказался воспринять новую точку зрения. Более правильным было бы утверждать, что он, обладая высочайшим интеллектом, не поняв этот новый взгляд на вещи вначале, в последующие двадцать лет сражался сам с собой, пока не смог, наконец, объяснить и усвоить полностью новый формализм, отвергая вместе с тем его новую интерпретацию.

Борн утверждает:

«С самого начала Лоренц с радостью признал работу Эйнштейна и в последующем внес полезный вклад в теорию относительности. Ему было, конечно, очень трудно примириться с мыслью о том, что его любимая идея об абсолютно покоящемся эфире, по существу идея о материальном эфире, полностью рухнула. Но Лоренц в конце концов признал этот переворот» (<sup>3</sup>, стр. 71, 72).

Хотя известно, что Лоренц всегда вел себя благородно по отношению к Эйнштейну и между ними существовали близкие и дружеские отношения <sup>33</sup>, все же борновское изложение позиции Лоренца в отношении теории Эйнштейна не подтверждается изучением поздних работ Лоренца.

Почти сразу же после появления статьи Эйнштейна Лоренц констатировал, что эта работа вносит определенный вклад в электродинамику движущихся тел. Однако он впервые упоминает о работе Эйнштейна лишь в последней из цикла лекций, прочитанного Лоренцом в Колумбийском университете в 1906 г.:

«Его [Эйнштейна] результаты, относящиеся к электромагнитным и оптическим явлениям, ... в основном согласуются с теми, которые мы получили на предыдущих страницах. Главное отличие состоит в том, что Эйнштейн просто постулирует выведенное нами — пусть не без трудностей и не во всем убедительно — из фундаментальных уравнений электромагнитного поля. Поступая так, он может снискать у нас определенное признание, предлагая нам расценивать отрицательные результаты экспериментов, подобных опытам Майкельсона, ... не как случайную компенсацию противоположных эффектов, а как проявление всеобщего и фундаментального принципа. Однако я полагаю, что можно было бы еще кое-что сказать в пользу той формулировки, в которой я изложил теорию. Я поневоле вынужден считать эфир, который может являться вместилищем электромагнитного поля с его энергией и его колебаниями, наделенным до некоторой степени субстанциальностью, пусть даже и иной, чем у обычной материи» (<sup>4</sup>, стр. 229, 230; <sup>5</sup>, стр. 25).

Пройдет еще несколько лет, и высказывание Лоренца засвидетельствует, насколько полно он представлял себе различия между его собственной теорией и теорией Эйнштейна:

«Если бы я писал последнюю главу теперь, то непременно отвел бы в ней значительно более видное место теории относительности Эйнштейна..., благодаря которой теория электромагнитных явлений в движущихся системах приобрела

такую прозрачность, которой я не мог достичь. Основной причиной моей неудачи была моя приверженность той идее, что переменную  $t$  можно рассматривать только как истинное время, а мою переменную  $t'$  локального времени — не более как вспомогательную математическую величину» \*).

В период между 1909 г., когда вышло первое издание «Электронной теории», и 1915 г., когда вышло ее второе издание, нельзя установить точный момент, когда Лоренц понял различия между своей теорией и теорией Эйнштейна. Однако в цикле лекций, прочитанных в Гёттингене в 1910 г. \*\*), и в лекциях по теоретической физике, читавшихся в 1910—1912 гг. (12, стр. 181—323), Лоренц уделил значительное внимание теории относительности. Из чтения этих работ становятся ясными две вещи: во-первых, Лоренц усматривал главное различие между двумя теориями в их отношении к эфиру и, во-вторых, Лоренц не собирался отказываться от представления об абсолютном времени.

В Гёттингенских лекциях Лоренц начинает с обзора вопроса о существовании эфира. Приводя в качестве исторических примеров различные модели эфира, он показывает, что попытки наделить эфир механическими свойствами неизменно встречаются с тяжелыми затруднениями (34, стр. 1234, 1235). Такое положение может привести к двум возможным точкам зрения:

«Либо удовлетвориться признанием принципиальной возможности механистического объяснения всех электромагнитных процессов, не стремясь доказать это еще одним трудоемким исследованием. Либо полностью отказаться от какого бы то ни было механистического описания — точка зрения, которую разделяет автор. В эту проблему можно внести много механического содержания, можно даже говорить о силах, действующих на электроны, но эфир должен быть полностью лишен свойств, подобных плотности или упругости... Имеет ли после всего этого смысл вообще говорить об эфире? Я все же полагаю, что эфиру следует оставить ровно столько субстанциальности, чтобы он определял систему координат» (34, стр. 1236).

И Лоренц думал действительно так. Эфир означает не более чем систему отсчета, в которой должно определяться абсолютное время:

«Предположим, что эфир существует; выберем из всех систем координат  $x, y, z, t$  такую, в которой часы покоятся относительно эфира. Если разделять представление (от которого автор может отказаться лишь с большим трудом), что пространство и время — совершенно разные вещи и что «истинное время» существует (тогда одновременность должна существовать вне зависимости от местоположения, выражая тем самым возможность бесконечных скоростей), то тогда легко видеть, что это истинное время будут показывать часы, неподвижные относительно эфира. Если же в природе всеобщую справедливость имеет принцип относительности, то тогда вообще нет возможности установить, является ли какая-либо одна система координат выделенной. Такой же результат получается, если отвергнуть существование эфира и истинного времени, как это сделано в работах Эйнштейна и Минковского, где все системы координат считаются равноценными. Какую из этих двух точек зрения принять, я оставляю на ваше усмотрение» (34, стр. 1236).

\*) См. 4, примечание 72 \*, стр. 321; добавлено в издании 1915 г.

\*\*) Г. А. Лоренц 34. Этот цикл читался с 24 по 29 октября 1910 г. и записан Максом Борном.

Иными словами, Лоренц не только хочет лишить эфир субстанциальности, он, более того, готов принять принцип относительности, который для него означает невозможность выделить систему отсчета, покоящуюся по отношению к эфиру. Но Лоренц не намеревается отказаться от концепции эфира как такового или от представления о существовании абсолютного времени.

Эти мотивы повторяются и в последующих работах Лоренца. Например, в своих лекциях 1910—1912 гг. по теории относительности он продолжает утверждать, что, хотя эфир и лишен большинства материальных свойств, он все же сохраняет достаточную субстанциальность, чтобы имело смысл говорить о покоящейся относительно него системе отсчета (<sup>12</sup>, стр. 208—211). Сколь много субстанциальности имеет эфир, Лоренц сказать не в состоянии, но он снова и снова выражает надежду на то, что эфир существует — как способ сохранить представление об абсолютном времени. В отношении работ Эйнштейна и Минковского, в которых эфир игнорируется, Лоренц пишет:

«Это, конечно, вопрос вкуса и словесного выражения. Есть или нет эфир, определенно существуют и электромагнитные поля, и энергия электрических колебаний. Если вам не нравится слово «эфир», вы можете заменить его другим, — вот хорошая тема для разговора! Однако я вовсе не уверен в том, можно ли понятие «пространства» расширить до такой степени, чтобы оно характеризовало не только геометрические, но и электрические свойства» (<sup>12</sup>, стр. 210, 211).

Что касается самого принципа относительности, то Лоренц, подобно Пуанкаре <sup>8</sup>, теперь заявляет, что вопрос о его справедливости должен решить эксперимент. «Это, — говорит он, — вопрос специфических свойств сил в природе» (<sup>12</sup>, стр. 255).

В 1915 г. Лоренц снова заявляет, что желание или нежелание говорить об эфире — это вопрос вкуса; но если кто-либо не хочет использовать эфир потому, что он «не пахнет относительностью», тогда пусть попытается объяснить, почему сигналы распространяются в пространстве со скоростью света <sup>35</sup>. В 1922 г. Лоренц снова возвращается к этой теме:

«В заключение вернемся на несколько минут к специальной теории относительности и к использованным в ней преобразованиям, которые затрагивают также время... Физик старой школы сказал бы так: «Я предпочитаю время, которое измерено по часам, покоящимся относительно эфира, и которое я считаю истинным временем, хотя и допускаю, что из двух времен, измеренных в точках *A* и *B*, я не смогу выбрать «истинного». Сторонник теории относительности утверждает, однако, что не имеет даже смысла говорить о том, что одно время лучше другого. Разумеется, это такой предмет, по поводу которого дискутировать можно очень долго. Позвольте мне сказать только следующее. Все наши теории помогают нам рисовать образы окружающего нас мира, и мы пытаемся делать это так, чтобы явления в мире можно было связать с наибольшей возможной полнотой и чтобы мы ясно понимали эти связи. Далее, для формирования этих образов мы можем использовать понятия пространства и времени, которые всегда были привычными для нас и которые я лично считаю совершенно ясными и, более того, четко отделенными одно от другого. Мое представление о времени столь определенно, что я ясно различаю в моей картине мира, что одновременно, а что нет.

...Что же касается эфира..., то, хотя представление о нем имеет некоторые преимущества, все же следует полагать, что если бы Эйнштейн разделял его, он наверняка не создал бы для нас свою теорию. И мы должны быть благодарны ему за то, что он не пошел старой проторенной дорогой» \*).

Несмотря на заявление Лоренца, что использование или неиспользование эфира — это вопрос лишь вкуса или формы выражения, несмотря на то, что, как заметили многие, его живой ум пытался понять не только проблемы относительности, но также и старую квантовую теорию \*\*), наконец, несмотря на то, что Лоренц смог объяснить формализм теории относительности с большой точностью и свободой (<sup>12</sup>, <sup>36</sup>, стр. 84 и далее), он отказывался принять интерпретацию Эйнштейна и тем самым отвергнуть представление об абсолютной одновременности. Это расхождение было большим, нежели только в манере выражения. Например, сам Эйнштейн, без сомнения, мог провести различие между тем, что одновременно, а что нет. Концепция Лоренца принципиально отличалась от концепции, утверждающей, что события, одновременные для одного наблюдателя, не одновременны для наблюдателя связанного с другой инерциальной системой отсчета. Приверженность Лоренца идее об абсолютной системе отсчета, пусть даже «непознаваемой», но покоящейся относительно эфира, весьма естественным образом проникала в его объяснения теории относительности. Тот факт, что скорость света в пустоте инвариантна для всех инерциальных наблюдателей, для Лоренца был проявлением своеобразного эффекта компенсации, вытекающего из введенных им уравнений преобразования. Лоренц никогда не рассматривал постоянство скорости света в пустоте как постулат. По существу, он утверждал (равно как и Пуанкаре <sup>7</sup>), что скорость света постоянна только в «эфирной» системе отсчета и кажется постоянной в других системах отсчета лишь благодаря эффекту «лоренцова сокращения» и преобразованию «местного времени», которое Лоренц всегда отличал от «истинного времени» \*\*\*).

Эйнштейн предложил свою теорию в качестве инструмента познания, иными словами, в качестве анализа того, как надо проводить измерения. Лоренц же с самого начала рассматривал ее как динамическую теорию. Примером этого различного подхода может служить его интерпретация сокращения длин, которое Эйнштейн получил как иллюзию измерения. Аргументация Лоренца в работе 1895 г., а именно что сокращение можно

---

\*) Г. А. Лоренц <sup>36</sup>. В предисловии Лоренц отмечает, что предоставленное ему время между прочтением и опубликованием лекций было достаточным для того, чтобы он смог некоторые вопросы разобрать более детально, чем на лекциях. Мы поэтому можем заключить, что в этой книге отражены взгляды Лоренца за год до его кончины. Мысль Лоренца о том, что модели должны помогать нам составить ясное представление об окружающем мире, вполне аналогична высказывавшейся Оливером Лоджем и Н. Р. Кэмпбеллом. См. <sup>31</sup>.

\*\*) Фоккер <sup>1</sup> и Бори <sup>3</sup> в различных местах их воспоминаний. Оглавление Лоренцовых «Проблем современной физики» <sup>36</sup> выявляет его взгляд на единство структуры физики. Приведем лишь часть основных разделов в том порядке, в каком они идут у Лоренца: Экспериментальные подтверждения принципа относительности; Структура электрона; Строение атомов; Приложения теоремы вириала; В какой мере можно объяснить молекулярные силы электромагнитными взаимодействиями; Основная теорема динамики и ее приложения; Боровский принцип соответствия; Замечания об излучении света; Излучение момента импульса и т. д.; см. <sup>37</sup>.

\*\*\*) Г. А. Лоренц <sup>36</sup>, стр. 100. Здесь Лоренц говорит: «То, что скорость света *с* отражает особое свойство, которое не меняется при преобразованиях теории относительности, разумеется, связано с тем, что *с* входит в формулу преобразования». Сравните это замечание с указанием Эйнштейна на то, что инвариантность скорости света с необходимостью обусловлена процессом правильной синхронизации часов, для осуществления которой необходимо, чтобы скорость света была одной и той же по всем направлениям <sup>38</sup>.



было бы объяснить тем, что движение тела влияет на межмолекулярные силы, использовалась им до конца его жизни (<sup>4</sup>, стр. 195 и д.; <sup>34</sup>, стр. 1238; <sup>35</sup>, стр. 331; <sup>12</sup>, стр. 206, 207). Иногда Лоренц аргументировал так, что представление об абсолютно неподвижном эфире, вместе с отрицательным результатом эксперимента Майкельсона — Морли, доказывает, что длина объекта сокращается в направлении его движения \*). Даже то, что Лоренц без конца возвращается к вопросу о структуре электрона, находилось в явном контрасте с подходом Эйнштейна. Хотя в последующих работах Лоренц действительно признал, что теория относительности ничего не говорит в деталях о структуре электрона, он все же утверждал, что, какая бы из теорий ни была выбрана, она должна обязательно включать в себя сокращение размеров электрона (<sup>36</sup>, стр. 125—127). Однако, как мы уже видели, для Лоренца «сжатие» электрона было фундаментальным предположением, тогда как для Эйнштейна оно, подобно всем другим «лоренцовым сокращениям», являлось иллюзией, порожденной процессом измерения.

### III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Лоренц, несомненно, был одним из величайших физиков всех времен. Он, однако, не любил философию <sup>1</sup> и не позволял философским соображениям проникать в его исследования физических проблем. Читая его работы, чувствуешь его убеждение в том, что физика является самостоятельной и внутренне замкнутой научной дисциплиной. Благодаря этому становится понятным, почему его исследование проблемы электродинамики движущихся тел не начинается с фундаментальных соображений о природе пространства и времени. Эти понятия в их классическом смысле были для Лоренца самоочевидными \*\*). Учитывая примат физики для Лоренца, не приходится удивляться, почему он начинает с рассмотрения явлений и лишь затем обращается к уравнениям преобразования, необходимым для описания вида этих явлений в различных системах отсчета.

Как признавал сам Лоренц, человеку, воспитывавшемуся в определенных традициях мышления и посвятившему значительную часть своей творческой жизни разрешению проблем в рамках этой интеллектуальной схемы, очень трудно (и поныне так!) радикально изменить свои взгляды.

Величие Лоренца можно охарактеризовать тем, сколь полно он смог включить теорию относительности в систему своих взглядов, даже будучи не в состоянии полностью принять ее. Наконец, Лоренц лелеял мечту о том, чтобы сделать всю физику «прозрачной» с помощью теории, основывающейся на одной-единственной совокупности посылок. Сколь ни заманчива такая мечта, но даже Лоренцу не удалось добиться успеха в ее осуществлении.

### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. H. A. L o r e n t z, Impressions of his Life and Work, ed. by G. L. de Haas-Lorentz, North-Holland Publ. Co., Amsterdam, 1957.
2. L. P a g e, Amer. J. Sci. 15, 374 (1928).
3. M. B o r n, Nachr. Akad. Wiss. Göttingen, Mat.-Phys. Kl. Mitt. (1928—29), S. 69.
4. H. A. L o r e n t z, The Theory of Electrons, Leiden, 1909. Пересмотр. издание, 1915; переиздание: Dover Publ., Inc., New York, 1952. (Все ссылки даны по этому последнему изданию.) Последнее русское издание: Г. А. Лоренц, Теория электронов. ГТТИ, 1956.
5. K. S c h a f f n e r, The Lorentz Electron Theory and Relativity (mimeографическое издание, не датировано).

\*) Г. А. Лоренц <sup>4</sup>, стр. 196. Оливер Лодж высказывал тот же взгляд; см. <sup>31</sup>.

\*\*) Одно из последних высказываний Лоренца по этому вопросу можно найти в <sup>36</sup>, стр. 220—222.

6. S. G o l d b e r g, Early Response to Einstein's Theory of Relativity, 1905—1911: A Case Study of National Differences, Ph. D. Thesis, Harvard University, 1969, p. 15—50.
  7. S. G o l d b e r g, Amer. J. Phys. 35, 933 (1967).
  8. S. G o l d b e r g, The Silence of Poincaré and Einstein's Relativity: The Role of Experiment in Poincaré's Physics, Brit. J. Hist. Sci. (в печати).
  9. H. A. L o r e n t z, La théorie électromagnétique de Maxwell et son application aux corps mouvants, Leiden, 1892, p. 71.
  10. H. A. L o r e n t z, Z. Math. Phys. 22, 1205 (1875).
  11. E. T. W h i t t a k e r, A History of the Theories of Aether and Electricity, London, 1910 (переработанное и дополненное издание выпущено в Harper Torchbooks, New York, 1960).
  12. H. A. L o r e n t z, Aether Theories and Aether Models, Lectures on Theoretical Physics, McMillan Co., London, 1927, vol. 1, pp. 3—74.
  13. H. A. L o r e n t z, Versuch einer Theorie der elektrischen und optischen Erscheinungen im bewegten Körpern, Leiden, 1895 (второе стереотипное издание, Leipzig, 1906).
  14. H. A. L o r e n t z, Proc. Acad. Sci. Amsterdam 6, 809 (1904).
  15. H. A. L o r e n t z, Proceedings 12, 986 (1904).
  16. H. A. L o r e n t z et al., The Principle of Relativity, Methuen and Co., Ltd., London, 1923; переиздание: Dover Publ., Inc. (без даты).
  17. G. H o r t o n, в кн. «Melanges Alexandre Koyre», Hermann, Paris, 1964.
  18. G. H. K e s w a n i, Brit. J. Phil. Sci. 15, 286; 16, 49 (1965).
  19. G. H o l t o n, Amer. J. Phys. 28, 627 (1960).
  20. G. H o l t o n, Influences and Reception of Einstein's Early Work in Relativity Theory (mimeографическое издание, 1965), стр. 32 и д.
  21. E. M a s c a r t, Ann. de l'Ecole Normale 1, 240 (1872).
  22. A. A. M i c h e l s o n, Amer. J. Sci. 22, 120 (1881); A. A. M i c h e l s o n and E. W. M o r l e y, Amer. J. Sci. 34, 333 (1887).
  23. A. M. B o r k, Isis 57, 199 (1966).
  24. S. G. B r u s h, Isis 58, 230 (1967).
  25. H. A. L o r e n t z, Physik. Zs. 2, 78 (1900).
  26. M. A b r a h a m, Nachr. Acad. Wiss. Göttingen, Mat.-Phys. Kl. (1902), SS. 20—41.
  27. A. E i n s t e i n, Ann. Physik 17, 894 (1905).
  28. H. P o i n c a r é, Rendiconti del Circolo Matematico di Palermo 21, 1206 (1906).
  29. G. H o l t o n, в кн. «Science and Synthèse», Gallimard, Paris, 1967, pp. 97—140.
  30. G. H o l t o n, The American Scholar 37, 60 (1967—68).
  31. S. G o l d b e r g, In Defence of Ether: The British Response to Einstein's Theory of Relativity, 1905—11, Hist. Studies in Science (в печати).
  32. M. A b r a h a m, Physik. Zs. 5, 576 (1904).
  33. H. A. L o r e n t z, The Einstein Theory of Relativity, Brentano's, New York, 1920, pp. 63—64.
  34. H. A. L o r e n t z, в кн. «Physik», Red. Warburg, Leipzig, 1915.
  35. H. A. L o r e n t z, Physik. Zs. 11, 1234 (1910).
  36. H. A. L o r e n t z, Problems of Modern Physics: A Course of Lectures Delivered in the California Institute of Technology [1922]. H. Bateman (ed.), Ginn and Co., Boston, 1927, pp. 220—221.
  37. R. M c C o r m a c h, Isis 58, 37 (1967).
  38. A. E i n s t e i n, Relativity: The Special, The General Theory, Henry Regency Press, Chicago, 1942, pp. 18—21.
-