

51. *Keswani*, loc. cit. (36) *passim*, loc. cit. (36.II) 23.
52. *Ibid.*, 28.
53. *Ibid.*, 30—31.
54. *Goldberg*, loc. cit. (6).
55. *Ibid.*
56. Сравнить с *H. Poincaré*. *La dinamique de l'électron* (Paris, 1913) *passim*. На самом деле, если бы Пуанкаре был жив, есть все основания думать, что он попытался бы включить последние по тому времени квантовые явления в рамки теории Лоренца. Сравните *H. Poincaré*. *Sur la theorie des quanta*. *Comptes Rendus*, CLIII, (1911), 1103—1108. *H. Poincaré*. *Sur la theorie des quanta*. *Journal de phys. thé. et app.* II (1912), 5—34. «В одном из своих критических очерков по логике и методологии науки Пуанкаре писал, что целью науки является раскрытие единства, а не механизма. Кванты были для него «чарующими» в их унифицирующем смысле: они очень подходили для его попыток свести все явления к их атомной интерпретации». (McCormach, loc. cit. (24), 39).
57. Кешвани ставил вопрос о том, не показалась ли работа Эйнштейна Пуанкаре тривиальной, но уклонился от его обсуждения. *Keswani*, loc. cit. (38.II); 31.
58. *Goldberg*, loc. cit. (6), 940.
59. *A. Einstein*. Über Relativitätsprinzip und die aus demselben gezogene Folgerungen. *Tahrb. Rad. u. Elek.* IV (1907), 411—462. (436—439). *G. Holton*. Mach, Einstein and the Search for Reality, *Daedalus*, LXXXVII (1968); 636—673, (651—652).

С. Г. Суворов

ОПЫТ И ФИЗИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ

I. Проф. Дж. Холтон о соотношении между опытом и теорией

1. *О роли опыта Майкельсона в становлении теории относительности*. В этом выпуске «Эйнштейновского сборника» читатель найдет статью видного американского историка физики, профессора Гарвардского университета Дж. Холтона — «Эйнштейн, Майкельсон и „решающий“ эксперимент». Статья эта представляет интерес уже тем, что в ней обрисована историческая обстановка, в которой развивалась экспериментальная и теоретическая физика в один из важнейших периодов, когда во весь рост встали проблемы электродинамики движущихся тел. Привлекая огромный документальный материал, иногда впервые публикуемый в печати, автор убедительно показывает, в какой сложной драматической обстановке рождаются и развиваются новые идеи в науке. Ничто не утверждается без борьбы, иногда длящейся долгие годы. Отрицательный результат остроумного и точнейшего эксперимента Майкельсона, от которого ожидали подтверждения гипотезы стационарного эфира, был воспринят научной общественностью с разочарованием и недоумением. Опыт пришел в противоречие с установившимися взглядами, расстаться с которыми было нелегко. Сам экспериментатор был удручен результатом и пугался возможных выводов. Лоренц искал выход в специальных гипотезах, которые вызывали неудовлетворенность и недоверие своим явно приспособляющимся характером *ad hoc*. Но и теория относительности, по-новому решавшая стоявшие в физике проблемы, была встречена осторожно и с недоверием: столь необычна она была по своим выводам, по своей разрушительной силе, ниспровергающей априористические представления классической физики. Не случайно Эйнштейн не был представлен к Нобелевской премии за разви-

тие теории относительности. Новые идеи лишь постепенно завоевывали себе признание. Но и до нашего времени многие проблемы, связанные с теорией относительности, ее обоснованием, ее трактовкой, являются предметом дискуссий в научных кругах.

Однако, рисуя общую картину развития идей, связанных с теорией относительности, Холтон главное внимание сосредоточивает на обсуждении вопроса о связи эксперимента Майкельсона с теорией Эйнштейна. В статье обстоятельно показано, как широко распространен взгляд, будто теория относительности является прямым и непреложным следствием отрицательного результата известного эксперимента Майкельсона—Морли по обнаружению эфирного ветра, будто этот эксперимент оказал решающее влияние на мышление самого Эйнштейна. Такой взгляд на протяжении полувека активно пропагандировали известные физики, историки и философы, экспериментаторы и авторы учебников и популярных книг.

Утверждение о прямой генетической связи теории относительности и опыта Майкельсона Холтон считает таким же мифом, как и миф о том, что теория тяготения Ньютона является прямым следствием его наблюдения за падением яблока. Он вскрывает побудительные причины распространения этого мифа; главная из них состоит в том, что многие физики считали, что принять столь «странную», крайне абстрактную теорию, какой казалась теория относительности, возможно было лишь признав, что это принятие неизбежно, поскольку она прямо вытекает из опыта Майкельсона. Такая опора на непреложный опыт, даже если бы она и была неправомерной, облегчает восприятие теории и в педагогической практике. Холтон указывает также и на поддержку этого мифа позитивистской философией, которая использовала его как обоснование своей идеи: поскольку восприятие одного только «факта» способно опрокинуть любую, казалось бы, прочно утвердившуюся теорию, последняя не имеет объективного смысла. Крупный американский физик, лауреат Нобелевской премии Р. Милликен, защищал даже идею, будто одно только изобретение нового прибора кладет начало развитию новой области физики: интерферометр Майкельсона, электронно-вакуумная трубка, камера Вильсона, счетчик Гейгера, дифракционная решетка Роуланда,— каждый из подобных приборов стал родоначаль-

ником новой теории или новой области физики (интерферометр породил теорию относительности, «спектрограф — творец астрофизики», пишет Милликен в автобиографии, оправдывая свой переход из Чикагского университета в Калифорнийский технологический институт). Это направление мысли Холтон называет экспериментистским.

Холтон проанализировал огромное количество различных документов, выступлений, интервью, писем, статей Эйнштейна, показав, что высокая оценка майкельсоновского эксперимента Эйнштейном все же не идет дальше признания его изящества, огромной, впервые достигнутой, точности, остроумия лежащей в его основе идеи, что результат опыта Майкельсона, когда Эйнштейн о нем узнал, лишь укрепил в его сознании убеждение в отсутствии абсолютной «светоносной среды» — эфира, но не дал логической основы для теории. Таким образом, опыт Майкельсона «не играл никакой роли, или, по крайней мере, не играл решающей роли». Этой формулировкой, данной в письме Давенпорту,— в последнем документе по этому вопросу, написанном за год до кончины,— Эйнштейн подводит итог всем своим суждениям о связи теории относительности с опытом Майкельсона. Письмо это, найденное в архиве Эйнштейна и впервые опубликованное Холтоном, венчает исследования самого Холтона.

Таким образом, все исследование Холтон ведет в том плане, что есть два аспекта оценки значения опыта Майкельсона; один из них — личный: опыт Майкельсона не имел или почти не имел значения для самого Эйнштейна при создании теории, поскольку он ничего не добавил к уже сложившимся у него представлениям; другой аспект — общественный: ссылка на опыт Майкельсона облегчила принятие теории относительности *другими* — научной общественностью, студентами. Эти аспекты можно расшифровать так: опыт Майкельсона в *создании* теории не играл логической роли, но в *принятии* уже созданной теории он играл *психологическую* роль.

2. *Общая проблема о соотношении между опытом и теорией.* Ясно, что при рассмотрении частной проблемы о роли опыта Майкельсона для формулировки теории относительности встает вопрос об истоках теории вообще, о логических основаниях теории.

И здесь, обсуждая общий вопрос о связи теории и эксперимента, Холтон выступает с той же позиции — позиции отрицания роли эксперимента в становлении теории. Он говорит о «широком потоке мифов, согласно которым научная работа представляется как непреклонное следование логически правильным заключениям из несомненных экспериментальных посылок. Систематики, аксиоматики, авторы учебников и другие тоскуют по прямолинейной последовательности как в самой научной работе, так и в отчетах о ней; увы, истина состоит в другом» (стр. 145).

Для нас, конечно, представляет большой интерес узнать, в чем же «в другом» состоит истина познания, как понимает процесс познания видный историк физики, который тщательно анализирует исторические документы, не чурается гносеологических проблем, критически относится к позитивистам и их попыткам причислить Эйнштейна к последователям эмпирической философии (см. его критику Рейхенбаха). Отвечая на этот вопрос, Холтон опирается на высказывания Эйнштейна по вопросам познания. Основные из них мы напомним.

В «Автобиографических заметках» (1946—1949) Эйнштейн обсуждает вопрос о критериях, играющих роль «при выборе между теориями» *. Он назвал два таких критерия: «внутреннее совершенство» и «внешнее оправдание» теории. Оба эти критерия, по Эйнштейну, довольно неопределенны (хотя между «авгурами» «большей частью наблюдается полное согласие» по поводу их). Так, критерий «внутреннего совершенства» не имеет какой-либо соизмеримой меры для разных теорий одних и тех же явлений. Этот критерий характеризуется такими малоопределенными понятиями, как «естественность», «простота», «завершенность» и т. п., которые Холтон относит к области эстетики.

Применение же критерия «внешнего оправдания» теории также заключает в себе трудности: «Дело в том, — писал Эйнштейн, — что часто, если не всегда, можно сохранить данную общую теоретическую основу, если только приспособлять ее к фактам при помощи более или менее искусственных дополнительных предположений». Дру-

гое дело, признавал ли сам Эйнштейн правильным такой путь, шел ли он сам этим путем, но существенно, что он видел такую возможность — возможность сохранения теоретических основ за счет искусственных дополнительных гипотез: таким путем шла классическая физика, таким путем шел Лоренц.

Критерий «внешнего оправдания» теории сводится к требованию, чтобы теория не противоречила опыту. Заметим, что в этом критерии Эйнштейна речь идет о теории уже созданной, и опыт здесь рассматривается не как исходный пункт *построения* теории, а как эталон для отбраковки уже готовых теорий. Именно так толкует эти суждения Эйнштейн и Холтон; излагая их, он пишет: «Дело не в том, что теория может быть *построена* на несомненно очевидных опытных фактах, не в том, что теория может быть *подтверждена* постановкой решающих экспериментов, а скорее дело в том, что „теория не должна противоречить опытным фактам“» (стр. 158; курсив наш). Активное влияние опыта на создание теории Эйнштейн отрицал в принципе; читатель может найти в статье Холтона соответствующие ссылки на многочисленные и относящиеся к самым различным периодам его деятельности высказывания Эйнштейна в том духе, что нет логического пути от опыта к построению теории.

Именно этой позиции Эйнштейна держится и Холтон: теория не может быть выведена логически из эксперимента. Как же создаются теории? Эйнштейн полагает, что теории и понятия суть свободные творения мышления; после же создания теории действуют критерии отбора. Видимо, так думает и Холтон. Правда, он не может исключить роль эксперимента нацело, он пишет: «Конечно, эксперименты существенны для исторического прогресса. Конечно, построение цепи от нового загадочного эксперимента к теоретической схеме, которая его объясняет, — это обычный процесс, особенно в повседневной работе большинства ученых» (стр. 210). Но он ограничивается таким общим ни к чему не обязывающим замечанием, не вскрывает конкретной роли эксперимента в познании. Более того, высказав мимоходом общее замечание, он делает далее оговорки: «И тем не менее следует противостоять заблуждению экспериментистов, винчающих идею о строго логическом следовании от эксперимента к теории, по учебнику». Холтон боится, что «обращая внимание в пер-

* См.: А. Эйнштейн. Собр. науч. трудов (в дальнейшем — СНТ), т. IV. «Наука», стр. 266—267.

вую очередь на внешне зримые моменты» (т. е. на роль экспериментов), эта доктрина «не воздает должного всему величию науки».

Для ясности скажем сразу: мы согласны с критикой Холтоном позитивистов, мы за воздание должного всему величию науки, т. е. за высокую оценку роли не только экспериментов, но и теории. Точно так же мы считаем правильным утверждение Холтона, что теория относительности не выведена Эйнштейном непосредственно из опыта Майкельсона. Однако мы считаем необходимым рассмотреть обоснования высказанным взглядам по существу, и это приведет нас к выводам, отчасти совпадающим (хотя и иначе обоснованным) и отчасти не совпадающим со взглядами Холтона. Мы должны, следовательно, поставить вопрос о правомерности метода, которымщаются ответы на подобные вопросы, в частности, на вопрос о том, была ли теория относительности (специальная) выведена непосредственно из опыта Майкельсона.

Ответ на этот вопрос Холтон составляет в плане выяснения, что по этому поводу думал сам Эйнштейн, делали он решающие выводы из этого опыта. Конечно, это представляет известный психологический интерес. Мы видим, что этот путь ведет к необходимости кропотливого выяснения таких исторических деталей, как знал ли Эйнштейн об опыте Майкельсона до своей статьи 1905 г. или не знал, если знал, то что он мог знать и из каких источников, какие источники существовали к тому времени, как они толковали этот опыт, все ли они могли быть доступны Эйнштейну и т.д. Затем в этом плане приходится обсуждать различные противоположные трактовки высказываний Эйнштейна; как признает и Холтон, Эйнштейн иногда и сам давал повод к различным трактовкам его высказываний; к счастью, в последнем, найденном Холтоном письме, Эйнштейн высказался более определенно. Но законен вопрос: а что если бы такого письма не было написано, изменило ли бы это реальную ситуацию, или этот вопрос о роли эксперимента Майкельсона навсегда остался бы спорным?

Нам представляется, что ответ на вопрос о роли опыта Майкельсона в становлении теории относительности следует искать в исследованиях не психологического плана (конечно, по-своему интересных и нужных), а гносеологического, точнее, историко-логического плана.

Это позволит увидеть, что, формулируя теорию относительности, Эйнштейн и не отрывался от опыта, вопреки своей более поздней декларации общегносеологического характера. Но его подход к построению теории был своеобразен.

II. Два метода построения теорий. Лоренц

3. *Классический метод — усложнение теории с каждым новым опытом.* То, что из результата опыта Майкельсона непосредственно, с логической необходимостью не вытекает теории относительности, следует уже из того исторического факта, что Лоренц дал ему *другое объяснение*. Сам результат опыта Майкельсона должен был для Лоренца, в свете его представлений, играть другую и более решающую роль, чем для Эйнштейна. И, пожалуй, нет лучшего способа яснее изложить особенности практического подхода Эйнштейна к созданию теории, как сопоставив его с подходом Лоренца.

Когда Лоренц приступил к физическим исследованиям, новой и прогрессивной (далеко еще не всеми признанной) была теория электромагнитного поля Максвелла. Сам Максвелл полагал, что электромагнитные колебания суть особые состояния некоторой мировой среды — эфира, и пытался выяснить особенные свойства этой среды. Идея о наличии особой среды — носителя электромагнитных колебаний — несомненно появилась под влиянием успехов гидродинамики, получившей блестящее развитие в трудах механиков и математиков первой половины XIX века — Навье, Коши, Пуассона, Остроградского и других. Споры шли лишь о свойствах эфира, в частности, о том, является ли эфир стационарным, или же он увлекается движущимися телами. Лоренц принял концепцию стационарного эфира: она хорошо согласовывалась с достоверно установленным явлением aberrации звезд (видимое годичное смещение звезды). Аберрация рассматривалась как простой результат геометрического сложения двух скоростей — абсолютной (относительно стационарного эфира) скорости света, идущего от звезды, и абсолютной скорости Земли.

Итак, исходной посылкой всех последующих рассуждений Лоренца явились стационарный эфир и связанная с ним

абсолютная система отсчета. В этой исходной схеме инерциальные системы отсчета были заведомо неравноправны. Тем самым относительность электромагнитных явлений в природе исключалась.

Пока эта схема опиралась на базу оптических явлений, в ней находили непосредственное объяснение только явления типа аберрации. Сложнее дело обстояло с объяснением опытов Френеля—Физо, в которых измерялась скорость света в движущихся прозрачных средах. В них не получалось векторного сложения скоростей света и среды, выявилось наличие «коэффициента частичного увлечения эфира» движущейся средой, имеющего вид: $\varphi = v(1 - 1/n^2)$, где v — скорость движущейся среды, а n — показатель преломления света для этой среды. Формула Френеля поражала своей загадочностью: неясно было, как понимать «частичное увлечение», а появление в формуле коэффициента оптического преломления среды неизменно усложняло всю проблему, вело к представлению о множестве «световых сред» и т. п. В круге оптических представлений этот результат не получал удовлетворительного объяснения. Только развитие электродинамики Максвелла и ее дальнейшее углубление Лоренцом позволили преодолеть возникшие трудности.

После открытия элементарных зарядов естественно было считать их источником элементарных электромагнитных полей. Лоренц связал эти поля с электромагнитным макроскопическим полем Максвелла. Переменные макрополя Лоренц рассматривал как результат усреднения соответствующих переменных элементарных полей.

Такой подход позволил Лоренцу связать поля со свойствами вещества, что явилось крупным вкладом в развитие электродинамики. В этом подходе эфир характеризовался теми же электродинамическими характеристиками, что и вещество, с тем отличием, что для него диэлектрическая постоянная ϵ и магнитная проницаемость μ принимали предельное значение, равное единице. По Лоренцу, возбуждаемые электронами поля распространяются в том же стационарном эфире, и уравнения их имеют тот же вид, что и уравнения Максвелла для макрополя, в них лишь учитывается наличие зарядов, конвекционного тока, а также поляризация вещества. Существенно, что последняя в уравнениях электронной теории составляется из двух компонент: одна из них — поляризация вещества

P_1 в диэлектрике, пропорциональная диэлектрической постоянной вещества ϵ и напряженности поля $P_1 = \epsilon E'$; другая — поляризация относительно стационарного эфира, пропорциональная напряженности поля: $P_2 = -E'$ (для эфира $\epsilon = 1$). Таким образом, полная поляризация $P = P_1 + P_2 = (\epsilon - 1)E'$. Следовательно, полное электрическое поле $E = P/\epsilon = (1 - 1/\epsilon)E'$, а так как в электромагнитной теории Максвелла $\epsilon\mu = n^2$ и для диэлектрика $\mu = 1$, то $E = (1 - 1/n^2)E'$. Эта формула находит подтверждение в электродинамических экспериментах (опыты Эйхенвальда и других).

Таким образом, загадочный и противоречивый, в оптическом аспекте, эксперимент Френеля — Физо нашел непротиворечивое объяснение в электродинамической теории Лоренца. Это обстоятельство укрепило уверенность Лоренца в правоте его исходной концепции о стационарном эфире.

Однако на пути успешного развития идей Лоренца стоял эксперимент нового типа — интерференционный опыт Майкельсона. Ождалось, что в этом опыте будет обнаружен эфирный ветер, чем и подтвердилась бы непосредственным образом исходная концепция Лоренца; результат опыта показал отсутствие эфирного ветра. Казалось, что опыт Майкельсона стал «решающим» для концепции стационарного эфира. Тем не менее Лоренц удержал эту концепцию; он объяснил результат Майкельсона *в духе своей исходной посылки* (абсолютная система, стационарный эфир). Это было возможно при условии принятия дополнительной гипотезы, утверждающей, что тела сокращаются в направлении движения в отношении $k = (1 - v^2/c^2)^{-1}$.

Контракционная гипотеза Лоренца критикуется как гипотеза *ad hoc*. Но что такое гипотеза *ad hoc*? Существует обширная литература, обсуждающая вопрос о правомерности гипотез *ad hoc*. Холтон посвятил этому понятию целый раздел в статье; рассмотрев его с разных сторон (*ad hoc* психологический и *ad hoc* логический; *ad hoc* для одного исследователя не есть *ad hoc* для другого; *ad hoc* вчера — уже не *ad hoc* сегодня и т. д.), Холтон пришел к выводу о его неопределенности и относительности. Но сами по себе эти суждения не могут опровергнуть контракционной гипотезы: ее защитники могут утверждать, что сам опыт Майкельсона можно рассматривать

как экспериментальное обоснование ее. На это позднее указывал и Лоренц*. Очевидно, что оценить роль гипотезы и ее характера можно лишь в свете оценки метода в целом.

Контракционная гипотеза привела к некоторым следствиям. Контракция Лоренца представляет собой анизотропное изменение размеров движущегося тела. Анизотропность должна была бы вызвать некоторые электромагнитные явления, например двойное лучепреломление, возникновение момента импульса при движении заряженного конденсатора. Но таких явлений не наблюдается. Ситуация вновь повторилась: ожидались определенные результаты экспериментов, а они не появились.

Теперь перед Лоренцом всталась еще более сложная проблема: как можно сохранить прежние исходные предпосылки об абсолютной системе отсчета, а также объяснение отрицательного результата опыта Майкельсона с помощью контракционной гипотезы, и вместе с тем объяснить отсутствие ожидаемых на основе предпосылок электродинамических явлений в движущихся телах? Лоренц сделал новое предположение: в телах — абсолютно неподвижном и движущемся (относительно стационарного эфира) — существуют «соответственные состояния» **. В «соответственных состояниях» одноименные электродинамические переменные различны: в покоящемся теле они абсолютно, в движущемся — они принимают «местное» значение. Но связь между переменными в движущемся теле должна сохраняться та же, что и между абсолютными значениями переменных, иначе говоря, уравнения поля для соответственных состояний должны быть инвариантны. Только

это требование приводит к тому, что в движущемся и анизотропно меняющем свои линейные размеры теле измерения дадут один и тот же результат, т. е. не будет наблюдаться никаких новых электродинамических явлений. Потребовалось найти связь переменных в движущемся теле с абсолютными, т. е. найти «формулы преобразования». Оказалось, что инвариантной формы уравнений нельзя достигнуть ни при каких условиях, если сохраняется непреобразованным время. Так появилось *Ortszeit* — «местное», или локальное время.

Следуя своему методу, Лоренц искал физические причины для перехода к преобразованным переменным, отправляясь опять-таки от очевидного с его точки зрения сжатия движущегося тела; раз изменяется конфигурация движущегося тела, значит изменяются соответствующим образом и уравновешивающие новую конфигурацию молекулярные силы, а равно и силы электростатические, меняются и напряженности полей и другие величины; во всех этих изменениях играет роль фактор k , характеризующий анизотропность в движущемся теле.

Что касается *Ortszeit*, то связь этой переменной с изменением конфигурации движущегося тела нельзя было усмотреть, поскольку время в классической физике рассматривалось как независимая переменная; поэтому Лоренц считал *Ortszeit* чисто вспомогательной величиной.

Как бы то ни было, идея о «соответственных состояниях» и привела Лоренца к «формулам преобразования», которые сохранились в последующем развитии физики и даже получили наименование «лоренцевых». К ним же пришел и Эйнштейн. Может быть путь Лоренца и есть правильный путь построения теории?

4. Метод Лоренца и его противоречия. Уже из краткого обзора видна суть метода Лоренца. Создается исходная система представлений — признание стационарного эфира и связанной с ним абсолютной системой отсчета. Эта система представлений, с одной стороны, перенесена из гидродинамики — другой области явлений, а с другой — опирается на объяснение самого раннего результата наблюдения оптического явления — видимой aberrации звезд. Таким образом, опыт в новой области явлений еще не был охвачен полностью во всем его многообразии, а уже были созданы представления о материальной

* См.: Г. А. Лоренц. Теория электронов, гл. V, п. 168.

** В статье 1904 г. Лоренц так формулировал «теорему о соответственных состояниях» (не называя ее): «Когда в системе без поступательного движения возникает состояние движения, для которого в определенном месте компоненты векторов p , d и h являются определенными функциями времени, тогда в той же системе, после того, как она приведена в движение (и, следовательно, деформирована), может возникнуть состояние движения, при котором в соответствующем месте компоненты векторов p' , d' , h' будут теми же функциями местного времени» [см.: «Принцип относительности», Сборник работ классиков релятивизма. М., ОНТИ, 1935, стр. 39].

Название теоремы дано Лоренцом в книге «Теория электронов» (1909 г., гл. V, п. 162), в которой она почти дословно повторяется.

структуре, в которой протекают новые явления. Эти представления заранее исключают возможности раскрытия новых свойств природы, например, возможности принципа относительности, т. е. ограничивают будущие возможные выводы. В дальнейшем каждый новый опыт по мере его возникновения рассматривается *независимо от других*, притом рассматривается *в свете исходной системы представлений*, сохраняя ее неизменной. Если результат нового опыта не укладывался в исходную систему представлений, создавалась гипотеза о причинах, объясняющих отклонение результата от ожидаемого. В этом проявлялась полная аналогия тому методу, который применялся в классической механике, в которой всякое отклонение от инерциального движения объяснялось наличием отклоняющей силы — причины отклонения. Хотя эксперименты рассматриваются в этом методе накопления все новых гипотез как *experimentum crucis*, т. е. «решающими», они не затрагивают исходных представлений и фактически решающими для них не являлись.

Теоретические возражения против такого метода, который «понимает и толкует опыт не во всей его конкретности, а как пример, и притом с благоприятной для гипотез и теорий стороны», были выдвинуты еще Гегелем, и В. И. Ленин поддержал эти возражения*.

Лоренц не отступил от этого метода, по-видимому, до конца своей жизни. Но нельзя не заметить, что логика развития познания взрывала его изнутри. В своих объяснениях Лоренц проделал замкнутый круг. Отрицательный результат опыта Майкельсона он объясняет механическими причинами — анизотропным изменением размеров движущегося тела; но это анизотропное изменение должно было вызвать определенные электромагнитные и оптические эффекты; отсутствие их Лоренц объясняет наличием «соответственных электромагнитных состояний» в двух системах — абсолютной и инерциально движущейся. Но допущение наличия таких «соответственных состояний», — которые и введены-то были как раз для оправдания того, почему в обеих инерциальных системах никакие измерения не в состоянии установить сущест-

* См.: В. И. Ленин. Полное собрание сочинений, т. 29. Философские тетради, стр. 192; подробнее этот вопрос освещается в статье: С. Г. Суворов. Ленинская теория познания и физика. Усп. физ. наук, т. 100, в. 4, 1970.

вования новых «ожидаемых» эффектов, — по сути дела означает обращение к «принципу относительности»; именно это обстоятельство и позволило Лоренцу подойти к проблеме преобразования переменных.

Естественно возникает вопрос: если, проделав вышеописанный круг, исследователь в конечном счете пришел к гипотезе о «соответственных состояниях», не естественнее ли было сразу признать факт независимости электродинамических законов от инерциального движения систем отсчета? И не означает ли признание «соответственных состояний», описываемых инвариантными уравнениями, что исходные предпосылки — абсолютная система отсчета и стационарный эфир — неадекватны природе?

Но Лоренц не сделал такого вывода и не вскрыл противоречия своих исходных положений с конечными результатами, к которым его толкали непреложные следствия физических опытов.

Непоследовательность метода Лоренца отомстила за себя нарушением логики еще и в другом отношении. Как известно, Лоренц рассматривал Ortszeit как чисто вспомогательную величину. Но в таком случае и все другие переменные поля, преобразованные совокупно с «местным временем», не должны рассматриваться как реальные, измеряемые в эксперименте величины, и потому они не могли привлекаться для объяснения отрицательных результатов упомянутых выше оптических и электродинамических опытов.

Сказанное не должно быть понято как умаление роли Лоренца как крупного ученого. Он сделал большой вклад в физику созданием электронной теории, которая связала электродинамику со свойствами вещества и послужила одним из важнейших подтверждений ее адекватности. Классический путь развития теории, примененный Лоренцом, обусловлен исторически и психологически. Практически каждое новое явление, по мере его открытия, немедленно оценивается, и оно не может оцениваться иначе, как в свете существующих представлений. Только когда накапливается достаточное число всех новых приспособительных гипотез, становится ясной неприемлемость всей структуры и отыскивается новый путь.

Эти замечания, разумеется, необходимы для уточнения исторической перспективы. Но, с другой стороны, они не могут исключить правомерности анализа логического процесса познания.

III. Два метода построения теорий. Эйнштейн

5. Вычленение предпосылок из накопленного физического опыта. Эйнштейн шел другим путем. Ему представлялось важным отыскать некоторые исходные для построения теории принципы (предпосылки, постулаты), которые должны быть обобщены из всей совокупности известных опытных фактов. Это прямо следует из структуры основоположной статьи 1905 г. Впрочем, Эйнштейн и сам дал ясное толкование методу теоретической физики, которого он практически держался. Во «Вступительной речи» при избрании его в Прусскую академию наук в 1914 г. Эйнштейн объяснял, почему физик-теоретик часто не в состоянии дать экспериментатору совет по какому-либо возникшему у него вопросу. Единичный опыт ничего не говорит теоретику: нужно установить принципы, могущие служить основой для последующих выводов. В установлении этих принципов лежит основная трудность. «Здесь не существует метода, который можно было бы выучить и систематически применять для достижения цели. Исследователь должен, скорее, выведать у природы четко формулируемые общие принципы, отражающие определенные общие черты огромного множества экспериментально установленных фактов. Если такая формулировка удалась, начинается развитие следствий, которые часто дают непредвиденные соотношения, ведущие далеко за пределы области фактов, из которых были получены принципы. Но до тех пор, пока принципы, могущие служить основой для дедукции, не найдены, отдельные опытные факты теоретику бесполезны, ибо он не в состоянии ничего предпринять с отдельными эмпирически установленными общими закономерностями. Наоборот, он застывает в беспомощном состоянии перед единичными результатами эмпирического исследования до тех пор, пока не раскроются принципы, которые он может сделать основой для своих дедуктивных построений»*.

Обратим внимание на то, что исходные принципы, о которых говорит здесь Эйнштейн, это не некие априорные, рационалистические категории: это широкого класса соотношения, «отражающие определенные общие черты

огромного множества экспериментально установленных фактов».

И действительно, без экспериментально установленных фактов невозможно никакое движение познания. Это гносеологическое положение проверено всей историей познания, оно справедливо для любой ступени познания, — и для того времени, когда человек только что поднимался над миром животных, и для современной цивилизации, в которой теория играет существенную роль. Это положение пробивало себе путь на протяжении многих веков развития философской мысли, и оно лежит в основе теории познания современной научной материалистической философии. И если мы привели длинную цитату из выступления Эйнштейна, то вовсе не потому, что его высказывание рассматриваем как доказательство этой истины. Важно было подчеркнуть, что Эйнштейн фактически шел по этому пути при построении специальной теории относительности; этим объясняется успех его теории, и, независимо от его высказывания, эту связь с обобщением «огромного множества экспериментальных фактов» можно проследить в его исследованиях.

Заметим сразу же, что говоря об обобщениях опыта, лежащего в основе теории, мы оперируем некоторым абстрагированным понятием. История и теория познания показывают, что на каждом отрезке пути познания опыт не отделен от теории непроходимой стеной и он сам может быть сформулирован и понят лишь на основе существующей теории. Однако здесь речь идет о формулировке новой теории, охватывающей новый круг явлений; в этом случае теория появляется в результате вычленения и формулировки общих черт «огромного множества экспериментальных фактов», которые выступают в виде предпосылок новой теории; последняя же должна показать их совместность. К этому вопросу мы еще вернемся.

Рассмотрим кратко обоснование и значение тех положений, из которых исходил Эйнштейн в своей основополагающей статье 1905 г.

6. Электродинамика Максвелла как предпосылка. Как известно, теория относительности появилась в результате поисков формы электродинамики движущихся тел, которая волновала физиков после работ Максвелла. Этот факт отразился в названиях многих работ, в том числе

* А. Эйнштейн. СНТ, т. IV, стр. 14—15. Курсив наш.

и в названии статьи Эйнштейна, в которой сформулированы основы теории относительности: «К электродинамике движущихся тел».

В преамбуле этой статьи Эйнштейн называет два исходных постулата, положенных в основу развертываемой далее теории — принцип относительности и принцип постоянства скорости света. В числе исходных постулатов он не называет в этой преамбуле электродинамику Максвелла, так как в его номенклатуре теория не относится к разряду постулатов. Но в этой же преамбуле он указывает, что простую, свободную от противоречий электродинамику движущихся тел можно построить при учете двух исходных постулатов, «*положив в основу теорию Максвелла для покоящихся тел*»*. И позднее Эйнштейн неоднократно подчеркивал связь теории относительности с электродинамикой Максвелла. Так, в 1917 г. в статье «О специальной и общей теории относительности» он писал: «Можно сказать, что теория относительности выросла из электродинамики как поразительно простое обобщение и объединение ряда независимых гипотез, на которых была основана электродинамика»**. А в 1934 г. Эйнштейн ясно формулировал: «Специальная теория относительности возникла из максвелловых уравнений электромагнитного поля»***.

Электродинамическая теория Максвелла в дальнейшем развитии, после Максвелла, прошла большую проверку. Были сделаны попытки развить ее в двух направлениях. Одно из них связано с определением формы уравнений электродинамики в движущихся телах. Проблема эта занимала и самого Максвелла и особенно Генриха Герца, экспериментальные исследования которого много способствовали утверждению максвелловой электродинамики.

* А. Эйнштейн. СНТ. т. I, стр. 8. Курсив наш.

** Там же, т. I, стр. 551.

*** Там же, т. II, стр. 416. Нас не должен смущать тот факт, что в качестве одной из предпосылок новой теории называется *теория* (предшествующая), а не «единичный факт», не отдельное экспериментальное соотношение. В самом деле, ведь и сама электродинамическая теория при своем становлении имела свои предпосылки, «экспериментально установленные факты», обобщением которых она и является: мы только не можем здесь идти далеко в глубь истории и рассматривать те основания, которые привели к формулировке теории Максвелла. В роли предпосылки теория выступает как концентрация огромного опыта.

Поскольку считалось, что максвелловы уравнения справедливы в системе, покоящейся относительно «неподвижных звезд», Герц пытался видоизменить их применительно к системе, движущейся относительно «неподвижных звезд». Новые уравнения электродинамики он вывел, по существу, тем же методом, которому следовал и Максвелл, — исследуя поток через замкнутую поверхность, находящуюся в поле. Но поскольку в его случае эта поверхность, жестко связанная с телом, двигалась, Герц полагал, что изменение потока через нее зависело не только от изменения самого поля в данном месте, но также и от того, что замкнутая поверхность переходит из одного места поля в другое. В результате учета этого обстоятельства в первом уравнении Максвелла (для $\text{rot } \mathbf{H}$) появились дополнительные члены: $\text{rot} [\mathbf{D}, \mathbf{u}] + \mathbf{u} \text{div} \mathbf{D}$, а во втором (для $\text{rot } \mathbf{E}$) — член $\text{rot} [\mathbf{B}, \mathbf{u}]$ (здесь \mathbf{u} — скорость движущегося тела). При $\mathbf{u} = 0$ уравнения Герца превращаются в уравнения Максвелла.

Однако уравнения Герца привели к неправомерным выводам. Так, из опыта известно, что электромагнитное поле существует и в вакууме, и для него справедливы уравнения Максвелла. Но уравнения Герца для вакуума не превращаются в уравнения Максвелла*. Тем самым нарушался естественный принцип связи двух вытекающих одна из другой теорий, который на примере другой области исследований получил позднее, у Бора, наименование принципа соответствия. По существу, попытка Герца означала построение новой электродинамики, в которой с самого начала учитывалась некоторая скорость \mathbf{u} , не встречавшаяся в уравнениях Максвелла. Уже это поставило уравнения Герца в противоречие с опытом. Кроме того, возник вопрос о том, как толковать скорость \mathbf{u} в случае отсутствия тела. Мы не можем подробно излагать соображения Герца, укажем лишь, что он пришел к выводу, что \mathbf{u} есть не только скорость тела, но и скорость эфира, который, следовательно, движется вместе с телом, увлекается им. Такая концепция стала в противоречие как с оптическими явлениями, так и с результатами новых

* Для вакуума исчезает только добавочный член $\mathbf{u} \text{div} \mathbf{D}$, поскольку он равен $i\mu$, а в отсутствии зарядов (их, ведь, несет тело) $\mu = 0$; члены же $\text{rot} [\mathbf{D}, \mathbf{u}]$ и $\text{rot} [\mathbf{B}, \mathbf{u}]$ не исчезают. См.: Л. И. Мандельштам. Полное собрание трудов, т. V. Изд-во АН СССР, стр. 130—131, 132—133.

электромагнитных исследований (Рентгена, Уилсона, Эйхенвальда и других).

Ввиду сказанного теория Герца отпала. Вместе с тем отпал метод выведения электродинамических уравнений, опирающийся на предположение об изменении потока через замкнутую поверхность при *передвижении* тела из одного места в другое, отпала попытка решить проблему электродинамики движущихся тел путем изменения формы уравнений Максвелла для предельного случая — вакуума.

О другом направлении обобщения электродинамики Максвелла мы уже говорили в разделе о методе Лоренца. Электронная теория Лоренца была правомерным обобщением теории Максвелла: как и система уравнений Максвелла, уравнения Лоренца не содержали каких-либо абсолютных скоростей тел и при определенных значениях характеристических параметров ($\rho = 0$; $\epsilon = 1$; $\mu = 1$) система лоренцевых уравнений превращается в систему уравнений Максвелла. Поэтому успехи электронной теории Лоренца, охватывающей электромагнитные явления в вещественных средах, следует также считать подтверждением электромагнитной теории Максвелла.

Формулировка теории в математической форме — существенная ступень познания. Она в корне изменила дальнейшие методы исследования. До создания электродинамической теории Максвелла исследовали главным образом единичные оптические явления. По результатам единичного эксперимента судили о свойствах света или о «свойствах среды», в которой явление протекает; результаты отдельных экспериментов суммировались и приспособлялись друг к другу и к исходным представлениям.

После появления электродинамической теории произошли существенные изменения.

Во-первых, большую роль играло уже то, что чрезвычайно расширился круг наблюдаемых явлений. Теперь уже тот же круг проблем — исследования электромагнитного поля и его взаимодействия с веществом — опирался на исследования не только оптических, но и электромагнитных явлений. Чрезвычайно расширились экспериментальные возможности, при этом электромагнитные эксперименты, помимо их большего разнообразия, во многих случаях оказывались легче воспроизводимыми. В последней четверти XIX и в начале XX века появилось множество электромагнитных исследований —

Рентгена, Роуланда, Уилсона, Эйхенвальда, Троутона, Нобля и других. Различные гипотезы получали быструю и многостороннюю проверку.

Во-вторых, охват электромагнитных явлений единой теорией выражал тот факт, что найдены такие характеристики исследуемых объектов, которые взаимосвязаны между собой и изменяются совокупно. Это в корне меняет саму постановку задач исследования. Все больше стала утверждаться идея о том, что гораздо важнее исследовать, как те или иные условия влияют на форму уравнений поля, а это, по существу, означало установление влияния условий на всю совокупность взаимосвязанных в объекте и отраженных в уравнениях теории электродинамических переменных. Забегая вперед, скажем, что физика нащупывала возможность связать принцип относительности в электродинамике с анализом условий, при которых уравнения электродинамики остаются инвариантными при переходе к новой системе отсчета, инерциально движущейся относительно исходной. Естественно, что на эту задачу наталкивался не один физик, а многие, вопреки даже тому, что исходные взгляды каждого из них не всегда совпадали.

Таким образом, появление теории в математической форме, на которую можно было опираться, обогащало представления о взаимосвязях в природе и расширяло методы исследования.

Итак, вслед за Эйнштейном, мы отмечаем, что электродинамика Максвелла явилась одной из исторических и логических предпосылок, сыгравших существенную роль при становлении теории относительности. К началу XX века она выступала как адекватная природе теория, завоеванная человеком ступень познания, которая служила отправным пунктом, одной из предпосылок для последующего развития знания.

7. Принцип относительности как предпосылка. Рассмотрим вопрос о том, как Эйнштейн использует электродинамику Максвелла.

Основную статью 1905 г. он начинает предложением: «Dass die Elektrodynamik Maxwells — wie dieselbe gegenwärtig aufgefasst zu werden pflegt — in ihrer Anwendung auf bewegte Körper zu Asymmetrien führt, welche den Phänomenen nicht anzuhafte scheinen, ist bekannt».

(«Известно, что электродинамика Максвелла, как ее в настоящем время обыкновенно толкуют, в применении к движущимся телам приводит к асимметрии, которая, по-видимому, несвойственна самим явлениям»*).

Дж. Холтон считает, что в этом предложении Эйнштейн выдвинул эстетический критерий истинности теории — требование симметрии (см. стр. 149). Однако нельзя согласиться с тем, что эйнштейновская критика асимметричности трактовки максвелловской электродинамики исходит из соображения эстетического характера: он прямо указывает, что эта трактовка «несвойственна самим явлениям». Это уже вопрос не эстетический, а гносеологический — о том, насколько трактовка отражает реальные отношения в природе.

Что же имеет в виду Эйнштейн, говоря о толковании электродинамики, приводящей к асимметрии, не свойственной самим явлениям?

Речь идет о толковании, которое связывает электродинамику Максвелла с некой абсолютной системой отсчета. Именно с таким толкованием связан рассмотренный далее Эйнштейном пример объяснения причин появления тока в замкнутом проводнике при взаимодействии его с магнитом: обычно указывают одну причину, когда «двигается магнит», и другую, когда «двигается проводник». Эйнштейн отмечает важность простого наблюдения: в обоих случаях результат — сила и направление тока — получается одинаковый, если одинаково относительное движение, стало быть, существенно не что движется, а только *относительное движение* проводника и магнита, налицо не два случая, а один.

Этот простой, повседневно наблюдающийся в электротехнике факт, Эйнштейн вполне обоснованно ставит в один ряд с широко обсуждавшимися в среде физиков

* В Собрании научных трудов Эйнштейна это важное место переведено неточно: вместо подчеркнутого в тексте определения в переводе говорится об электродинамике Максвелла «в современном ее виде» (т. I, стр. 7). Между тем в оригинале речь идет именно о *трактовке* электродинамики Максвелла;ическими строками ниже Эйнштейн пишет, что в основу электродинамики движущихся тел он кладет электродинамику Максвелла (с учетом двух постулатов). Эйнштейн не считал, что электродинамика Максвелла может привести к противоречию с явлениями, и неставил себе целью менять ее; напротив, он искал условие ее инвариантности.

«неудачными попытками обнаружить движение Земли относительно светоносной среды», которые физики называли «решающими»; хотя Эйнштейн и не называет эти попытки, но ясно, что среди них мог подразумеваться и опыт Майкельсона — Морли, но и не только он, а также и ряд однотипных электромагнитных опытов (например, опыт Троутона и Нобля по обнаружению момента импульса, действующего на заряженный движущийся конденсатор).

Обобщение, которое делает Эйнштейн из этих результатов, состоит в том, что «не только в механике, но и в электродинамике никакие свойства явлений не соответствуют понятию абсолютного покоя», и что для всех инерциальных систем «справедливы те же самые электродинамические и оптические законы, как это уже доказано для величин первого порядка». Это положение Эйнштейн именует в дальнейшем «принципом относительности», который является собой одну из предпосылок теории относительности. Вычленяя этот принцип, Эйнштейн как раз и выполнял задачу «выведать у природы... общие принципы, отражающие общие черты огромного множества экспериментально установленных фактов» (см. выше). Это вычленение из множества экспериментально установленных фактов принципа относительности представляет собой большой прогресс в науке.

Справедливость тех же самых электродинамических и оптических законов должна была найти свое естественное выражение в теории, а именно: во всех инерциальных системах связь между электродинамическими переменными должна быть одной и той же, т. е. уравнения Максвелла для предельного случая (вакуума) должны быть инвариантными. Это значит, что, находясь в другой инерциальной системе, мы открыли бы ту же электродинамику Максвелла и не установили бы никакого «абсолютного» движения нашей системы — факт, имеющий огромное теоретико-познавательное значение! И это произошло бы потому, что все измерения переменных мы производили бы в пределах нашей системы, считая ее покоящейся, т. е. мы определировали бы в каждой системе *собственным масштабом* переменных.

Переход от одной системы к другой, инерциально движущейся относительно первой, должен быть связан с переходом к переменным новой системы, т. е. с отысканием «формул преобразования» переменных. Важнейшим усло-

вием отыскания формул преобразования является требование инвариантности формы законов. При этом оказывается необходимым преобразовать также и время.

8. Проблема преобразования времени. Постулат о независимости скорости света от движения источника. Как мы уже отмечали, после того как законы электродинамики получили математическое выражение в виде системы уравнений, вопрос о форме преобразования переменных, оставляющих систему уравнений инвариантной, стал предметом многих исследований. Более того, математическая форма теории наглядно показала, что теория связывает определенным образом охватываемые ею переменные. Эта связь является собой некую целостность. В силу этого требование инвариантности математической формы теории (закона или определенного соотношения) не может быть выполнено при преобразовании только какой-то части переменных: в общем случае преобразование одной части переменных неразрывно связано с преобразованием остальных. История электродинамики показывает замечательный пример, доказывающий эту неразрывную взаимосвязь переменных: вопреки собственному убеждению, пронесенному через всю жизнь, Лоренц вынужден был преобразовывать и время, чтобы перейти к «соответственному состоянию» в другой инерциальной системе. Как бы ни толковал Лоренц введенное им *Ortszeit* как чисто вспомогательную величину, реальность состояла в том, — и это показала теория, выступая как целостность, — что в отношении преобразования время стало в один ряд с другими переменными, связанными в теории; в противном случае инвариантность законов в разных инерциальных системах, подтвержденная «множеством экспериментальных фактов», не получила бы отражения в теории.

Можно сказать, что преобразование времени вытекало как следствие принципа относительности, и то, что Эйнштейн понимал эту связь и не боялся ее, показывает его как глубокого мыслителя.

В уравнения электродинамики входит также скорость света как некоторая константа. Вначале она характеризовала отношение электродинамических единиц к электростатическим; лишь позднее выяснилось, что эта константа имеет размерность скорости, а ее абсолютная величина того же порядка, что и скорость света. Естествен вопрос,

как изменяется скорость света при переходе к другой инерциальной системе, не складывается ли она со скоростью системы по известному геометрическому закону? Такой закон сложения скоростей означал бы признание наличия системы, в которой скорость света имела бы абсолютное значение.

Однако справедливость уравнений Максвелла во всех инерциальных системах выражала тот факт, что в природе нет выделенной системы, по отношению к которой скорость света только и оставалась бы постоянной, меняясь во всех других системах. Такой системой не может быть и система, связанная с источником света. Если бы скорость света в других системах получила другое значение, например геометрически складывалась бы со скоростью системы, это вставало бы в противоречие с принципом относительности, уравнения электродинамики не были бы инвариантными. Эйнштейн хорошо осознавал связь независимости скорости света от движения источника с фактом справедливости уравнений Максвелла во всех инерциальных системах и сам на эту связь указывал. Так, уже во второй статье (об инерции тел), опубликованной в том же 1905 г., он возвращается ко второму постулату: «Использованный там (в первой статье.—*C.C.*) принцип постоянства скорости света содержится, конечно, в уравнениях Максвелла» *. Реализация этого постулата в природе обусловливает факт изотропности пространства, уже тогда хорошо известный физикам; Эйнштейн использовал его в первой статье 1905 г., а о его достоверности и значении для исследования физических законов говорит в докладе «Теория относительности», прочитанном в 1911 г. **

Конечно, по отношению к этому постулату даже после публикации статьи Эйнштейна 1905 г. высказывалось немало сомнений ***. Были сделаны попытки освободить

* А. Эйнштейн. СНТ, т. I, стр. 36. На этот источник Эйнштейн указывал и позднее, уже после того, как был опубликован ряд попыток отвергнуть этот постулат (см. ниже). Так, в статье «К проблеме относительности» (1914 г.) он также писал, что принцип постоянства скорости света следует «из электродинамики Максвелла — Лоренца» (там же, т. I, стр. 387).

** Там же, т. I, стр. 178—179.

*** В. Паули называет работы Толмэна (1910), Кунца (1910), Комстока (1910) и особенно Рица (1908). См.: В. Паули. Теория относительности. Гостехиздат, 1947, § 3.

ся от постулата о независимости скорости света от движения его источника; они имели целью избежать коренной ломки понятия времени, с которой связана теория относительности Эйнштейна. Однако при построении таких теорий («теорий истечения») оказалось необходимым отбросить не только существование эфира, но, как это и понимал Эйнштейн, также и уравнения Максвелла для вакуума, и заново перестроить всю электродинамику, адекватность которой не вызывала сомнений *.

Таким образом, Эйнштейн имел основание уже в 1905 г., опираясь на электродинамику Максвелла, сформулировать постулат о постоянстве скорости света. То, что правомерность этого постулата не всем физикам была в то время очевидной, говорит лишь о логической прозорливости Эйнштейна, глубоко провидевшего взаимосвязь достигнутых физикой результатов и выводов из них.

Анализ «огромного множества экспериментально установленных фактов» привел Эйнштейна к выяснению основных предпосылок для построения электродинамики движущихся тел. После этого можно было найти формулы преобразования электродинамических величин при переходе к другой инерциальной системе. Для этого достаточно было решить математическую задачу: при каких условиях преобразования переменных, связанных в электродинамической теории Максвелла, математическое выражение электродинамических законов остаются инвариантными. Эти условия дают также формулы преобразования пространственно-временных координат **.

* Позднее теории истечения отпали уже потому, что они стали в противоречие с рядом других физических результатов, в частности, — с объяснением явлений отражения и преломления света, а также с результатами исследования движения двойных звезд (Де Ситтер, 1913), непосредственно доказавшими независимость скорости света от движения его источника.

** Практически в первой статье Эйнштейн сначала обосновывал преобразования, а затем показывал, что эти преобразования отвечают требованию инвариантности уравнения шаровой волны света в разных инерциальных системах, если скорость света в обоих системах есть величина постоянная; для рассмотрения связи идей в данном аспекте этот порядок не имеет значения. Впрочем, указанный в тексте порядок Эйнштейн намечал в статье «Теория относительности» (1911 г.).

Таков круг идей, который привел к формулировке теории относительности.

Мы должны к этому добавить, что если становление теории относительности генетически связано с электродинамикой, это отнюдь не означает, что ее выводы относятся лишь к области электромагнитных явлений. Как показало дальнейшее развитие физики, скорость с имеет общее значение, она является скоростью распространения не только световых, но и других, например гравитационных, волн: точно так же оказалось, что релятивистское соотношение массы и энергии справедливо для любого вида энергии. Однако из этого не следует, что при анализе путей становления теории относительности можно игнорировать роль теоретического и экспериментального материала, который доставила электродинамика. Без этого материала было бы невозможно обоснование теории относительности.

IV. Заключение.

Некоторые теоретические выводы

Вернемся к основному предмету этой статьи — об отношении между опытом и теорией. Можно ли при построении теории обойтись без опоры на эксперименты, без учета результатов наблюдений, без опыта? Ответ может быть только отрицательным. Связи внешнего мира познаются только во взаимодействии с ним, а не в сфере чистого мышления. И при построении теории относительности (специальной) Эйнштейн действительно опирался на множество экспериментально установленных фактов, обобщенных в его исходных принципах или постулатах, которые неизбежно вели к новой теории.

Конечно, мы только в абстракции можем выделить отдельные моменты познания и сказать, что вот это — результаты *опыта*, а это — вытекающая из них *теория*. На каждом этапе познания новый опыт не выступает как некий «голый факт»: он определенным образом формулирован в понятиях. Откуда они берутся? Ясно, что «увидеть» их в «голом факте», например при рассмотрении туманного следа в камере Вильсона, невозможно: они возникли при реализации *предыдущего* знания, в самом описании опыта уже аккумулированы проверенные адекватные миру (пусть в первом приближении) понятия и тео-

рии. Тот факт, что они сформулированы на уровне предшествующего знания и, быть может, полностью неадекватны искуому, более глубокому знанию, не должен смущать исследователя; мы вернемся к этому вопросу ниже.

Связь между опытом и теорией признается почти всеми. Однако эта связь сложна, и оценка ее сущности даже крупными естествоиспытателями крайне неоднородна. Холтон с полным основанием утверждает, что, обсуждая вопросы познания, Эйнштейн отрицал существование логического пути от опыта к теории. Последнюю он считал свободным творением ума, а опыту отводил только функцию отбраковки теорий. Эйнштейн указывал, что существующие теоретические представления могут даже довлесть над опытом: новый опыт может получить толкование в духе старых теорий — для этого потребуется лишь дополнительная гипотеза. Конечно, он мог бы при этом сослаться на Лоренца.

Зато Милликен прямо связывал рождение теории с осуществлением того или иного эксперимента, а изобретению нового прибора приписывал развитие новой области науки.

Своеобразную роль опыту отводил Макс Лауз; в «Истории физики» он писал: «Таким образом, история опыта Физо является поучительным примером того, какую большую роль в объяснении опыта играют элементы теории; их нельзя даже отделить от него. И если потом теории меняются, то опыт превращается из поразительного доказательства для одной теории в такой же сильный аргумент для противоположной теории» *.

Таким образом, согласно этому утверждению Лауз, опыт выступает лишь как *аргумент* в пользу теории; сама же теория создается («меняется») где-то вне связи с опытом, и лишь после того как теория создана, опыт привлекается в качестве аргумента, причем один и тот же опыт может быть использован в резко противоположных целях. Конечно, в этом утверждении верно лишь то, что эксперимент Физо, как и другие электромагнитные эксперименты, разными физиками по-разному толковались, в соответствии с их исходными концепциями.

Однако во всех этих случаях дело, по существу, идет не о теории, охватывающей *все явления* данного класса, и не о связи такой теории со всем многообразием опыта, а о *толковании* данного, единичного эксперимента или ряда однородных экспериментов. Но когда речь идет о единичном эксперименте, неизбежен вывод, что нет однозначного логического пути от опыта к теории. Именно поэтому теория относительности непосредственно не вытекает из опыта Майкельсона. И это — самый существенный аргумент против взглядов Милликена, аргумент, независимый от того, было ли обнаружено в архиве Эйнштейна его письмо, в котором отрицается прямое влияние опыта Майкельсона на его исследования, и от того, что вообще думал по этому поводу сам Эйнштейн в разное время.

Но однозначный логический путь от опыта к теории существует, если в многообразном опыте отбирается некоторая *совокупность* разнородных экспериментально обоснованных предпосылок и *отыскиваются условия их логической совместности*. Это и есть логический процесс создания теории. Именно этот метод построения теории относительности (специальной), в противоположность методу Лоренца, практически применил сам Эйнштейн, и он привел к решающему прогрессу физики *.

Анализ процесса становления другой обобщающей теории — квантовой механики — показывает, что и в этом случае он осуществлялся так же: из множества экспериментально подтвержденных фактов вычленялась совокупность разнородных предпосылок и отыскивались условия их логической совместности. Таков общий путь становления теорий.

Итак, мы приходим к выводу, что между совокупностью экспериментально подтвержденных предпосылок и теорией

* Мы должны здесь кратко пояснить терминологию, чтобы избежать недоразумений. *Разнородными* экспериментами или предпосылками (которыми могут быть и экспериментально подтвержденные теории) мы называем такие, которые вносят *свой* вклад в логическую структуру теории; требование специфического вклада при включении в набор исходных предпосылок обязательно. «Однозначный логический путь» не исключает различных форм теории одного и того же круга явлений; в таких случаях различные по форме теории эквивалентны друг другу и выражают одни и те же логические связи объектов.

* М. Лауз. История физики. М., ГИТТЛ, 1956, стр. 83.

рией или короче, между опытом и теорией существует однозначная логическая связь. Но это — не та фигура формальной логики, согласно которой в выводе не заключается никакого нового содержания, которого не было бы в посылке. Отыскание и формулировка условий логической совместности некоторой совокупности разнородных предпосылок, т. е. формулировка теории, *ведет к новому знанию*, которое непосредственно в каждом единичном эксперименте не усматривается. Именно через теорию раскрываются объективные связи, существующие в природе, и в этом ее непреходящее гносеологическое значение*.

Становлением теории процесс познания не заканчивается: теория проверяется последующей практикой, основанной на теоретических выводах, а результаты практики оказывают обратное воздействие на теорию, внося в нее, если необходимо, поправки. Практическая деятельность, в которой устанавливаются разрозненные связи объективного мира — вычленение из них совокупности экспериментально обоснованных предпосылок — отыскание условий их логической совместности (формулировка теории) — проверка теории практической деятельностью, осуществляющейся на основе новой теории, — воздействие результатов этой деятельности на формулировку теории (обратная связь), — таковы основные звенья процесса познания, которые представляют собой *целостный гносеологический цикл*. В этом цикле выявляются черты *диалектической логики познания*, которая отражает логику объективного мира.

Развитию познания не препятствует тот факт, что аккумулированный в посылках опыт формулируется в

понятиях на уровне предшествующего знания. Опора на результаты предшествующего знания, включая и понятия, и неизбежна, и необходима. Познание есть процесс *историко-логический*, это обосновывается современной материалистической гносеологией. Развитие физических теорий хорошо иллюстрирует суть этого процесса. Отыскание условий логической совместности экспериментально обоснованных посылок ведет к изменению тех понятий, в которых формулировался опыт на прежнем уровне, на котором совместность посылок не учитывалась. Требование совместности посылок жестко определяет условие их совместности, т. е. определяет характер и границы изменения понятий. Понятия получают свое содержание в соответствии с той ролью, которую они играют в целостной теории. С логической стороны теория есть целостность понятий, и их содержание получает развитие и проверку в целостном завершенном гносеологическом цикле. Отношение между понятиями, охватываемыми теорией, и самой теорией аналогично тому, которое существует в природе между элементами системы и самой целостной системой.

Вся эта диалектика развития понятий находит прекрасную иллюстрацию на примере становления теории относительности.

Но оставляет ли признание логической связи между опытом и теорией место для творческой изобретательности, умения охватывать умственным взором всю совокупность опыта, прозорливо предугадывать еще только намечающиеся линии развития науки, для интуиции, покоящейся на накопленном опыте, роли широкого обобщенного взгляда на природу, — словом, для всех тех качеств, которые характеризуют индивидуальность ученого, высоко ценятся их почитателями и ревниво отстаиваются ими самими?

Безусловно, роль этих качеств никогда не потеряет значения, даже тогда, когда анализу условий логической совместности предпосылок будут привлечены электронно-вычислительные машины, что в перспективе естественно ожидать. Роль субъективных качеств велика уже в процессе вычленения предпосылок теории (*«обобщающих принципов»*) из множества экспериментальных фактов; ученый с большей логической прозорливостью, пониманием законов познания, накопленным опытом может предвидеть и отыскивать связи там, где другой нуждается в предъявлении ощутимых *«наглядных фактов»*.

* Иногда утверждают, что теория относительности была создана еще до Эйнштейна; например, у Планка имелись все ее элементы (отрицание абсолютного движения, идеи об универсализации принципа относительности, о постоянстве скорости света и т. п.). Несомненно, предпосылки, легшие в основу теории относительности, в ходе разработки проблем электродинамики возникали в голове не только одного Эйнштейна, и этот факт указывает на обоснованность и наличие объективных оснований для этих предпосылок. Однако отыскание и формулировка условий логической совместности этих предпосылок, т. е. создание *теории*, есть существенный шаг, ведущий к новому знанию, значение которого нельзя недооценивать. Этот шаг и сделал Эйнштейн.

Но роль этих субъективных факторов не отменяет наличия логической связи между принудительным для нас опытом и вытекающей из него теорией. Уже и сам факт признания, что такая логическая связь существует, играет положительную роль в развитии познания, так как ясно определяет задачи исследователя, нацеливает его сознательную деятельность.

Все это нам кажется полезным отметить, рассматривая вопрос об опытных основаниях теории относительности в связи с интересной статьей профессора Дж. Холтона.

УДК 530.12

Переписка А. Эйнштейна и М. Борна. «Эйнштейновский сборник, 1972». Изд-во «Наука», 1973, стр. 7.

Окончание переписки. Начало опубликовано в предыдущем «Эйнштейновском сборнике».

УДК 530.12

Эйнштейн, Майкельсон и «решающий» эксперимент. Холтон Д. «Эйнштейновский сборник, 1972». Изд-во «Наука», 1973, стр. 104.

На основании исторического исследования автор показывает, что опыт Майкельсона не мог быть «решающим» при создании Эйнштейном специальной теории относительности.

УДК 530.12

Эффект Вавилова — Черенкова и эффект Доплера при движении источников со скоростью больше скорости света в вакууме. Болотовский Б. М., Гинзбург В. Л. «Эйнштейновский сборник, 1972». Изд-во «Наука», 1973, стр. 212.

Рассматривается интерференция излучения от многих точечных источников, сформированных таким образом, что результирующее излучение может быть приписано источнику, скорость которого превышает скорость света в вакууме. Илл. 9. Библ. 25 назв.

УДК 530.12

Два парадокса специальной теории относительности. Смородинский Я. А., Угаров В. А. «Эйнштейновский сборник, 1972». Изд-во «Наука», 1973, стр. 237.

Рассматривается вопрос о видимой форме тел, движущихся с релятивистскими скоростями, и преобразование сил и моментов сил, действующих на находящиеся в равновесии тела, при переходе от одной инерциальной системы отсчета к другой. Илл. 4. Библ. 20 назв.

УДК 530.12

Термодинамика и статистическая механика в специальной теории относительности. Терhaar Д., Вергеланд Г. «Эйнштейновский сборник, 1972». Изд-во «Наука», 1973, стр. 254.

Исходя из соображений о том, что должно существовать однозначное соответствие между описаниями термодинамической системы, сделанными различными инерциальными наблюдателями, авторы приходят к термодинамике в форме, предложенной Оттом. Однако их выводы отнюдь не исключают другие формулировки. Показано, как можно получить оттовскую формулировку на основе статистической механики. Илл. 1. Библ. 30 назв.

УДК 530.12

Квантовая теория гравитации. Владимиров Ю. С. «Эйнштейновский сборник, 1972». Изд-во «Наука», 1973, стр. 280.

Дается обзор различных подходов к проблеме квантования гравитации. Излагается состояние проблемы квантования произвольного гравитационного поля, квантования закрытых миров, теория квантования слабого гравитационного поля и обзор подсчитывающихся на ее основе эффектов гравитационных трансмутаций материи. Сделан анализ возможных источников и ожидаемых от них потоков гравитационного излучения в окрестности Земли. Илл. 11. Библ. 124 назв.