

течение 10 дней, привели к выводу, что при $E=14,4$ кэв $\Delta E/E < 10^{-13}$. По величине $\Delta E/E$ можно оценить и $\Delta m/m$, но только при определенных предположениях о кинетической энергии и коэффициенте P . Если принять, что в данном случае $\bar{T}=10$ Мэв и $P=1/5$, то $\Delta m/m < 5 \cdot 10^{-16}$.

Но принятые предположения не совсем точны, поскольку для ядер Fe^{57} , используемого в опытах с эффектом Мессбауера, оболочечная модель дает не совсем правильные результаты. Кроме того, малое время жизни ядер в возбужденном состоянии дает сравнительно большую неопределенность в определении частоты. Поэтому, по Хьюзу [46], лучшие условия осуществляются при обычном ядерном магнитном резонансе. Хьюз, Робинзон и Белтран проводили эксперимент с ядерным магнитным резонансом на Li^7 , для ядра которого оболочечная модель дает более надежные результаты.

В магнитном поле Li^7 имеет четыре равноотстоящих при отсутствии анизотропии энергетических уровня, а следовательно, лишь одну резонансную частоту. Под влиянием анизотропии должен либо появиться триплет резонансных линий, либо должно наблюдаться уширение линии. Фактически наблюдалась лишь одна линия шириной 1,2 гц, обусловленная отчасти неоднородностью магнитного поля, а отчасти временем тепловой релаксации, связанным с магнитным дипольным взаимодействием ядер Li^7 между собой, причем в течение звездного дня ширина менялась мало. Принимая $\bar{T}=10$ Мэв, авторы оценили верхний предел анизотропии из своих опытов $\Delta m/m < 10^{-22}$.

Наконец, Дривер [47], исследуя прецессию ядер Li^7 в магнитном поле Земли, установил верхний предел $5 \cdot 10^{-23}$.

При теоретической интерпретации всей описанной группы опытов сталкиваются различные точки зрения. В рамках представлений Коккони и Салпитера можно считать, что никакой анизотропии массы не существует. На той же основе Вебер [48] рассматривает проведенные опыты как сильное подтверждение современной формулировки общей теории относительности и отрицания принципа Маха в его сильном варианте. По Дикке [49], анизотропия, вытекающая из принципа Маха, действительно существует, но она не наблюдаема ввиду того, что все поля и частицы подвергнуты ей в равной степени. К этому же сводятся и возражения Эпштейна [50], считающего, что учет анизотропии в члене потенциальной энергии полностью ликвидирует наблюдаемые эффекты.

4. ЭЙНШТЕЙН О ПРОСТРАНСТВЕ И ВРЕМЕНИ

В 1905 г. Эйнштейн опубликовал свою первую и основную работу по специальной теории относительности, коренным образом видоизменившую господствовавшие в классической физике пред-

ставления о пространстве и времени. В отличие от классической физики, в специальной теории относительности не вводится «абсолютно покоящееся пространство», наделенное особыми свойствами, и ни одной точке пустого пространства, в котором протекают электромагнитные процессы, не приписывается вектор скорости. Потеряло свое абсолютное значение и понятие одновременности. События, одновременные при наблюдении из одной координатной системы, не воспринимаются как одновременные при рассмотрении этих событий из системы, движущейся относительно первой. Пространство — время специальной теории относительности по характеру своему четырехмерно-псевдоевклидово. В этой работе Эйнштейн не анализирует геометрию специальной теории относительности.

В 1909 г. А. Зоммерфельд обратил внимание на связь между специальной теорией относительности и геометрией Лобачевского. В 1914 г. Ф. Клейн, анализируя геометрические основания лоренцовой группы, дал исчерпывающий анализ псевдоевклидова характера пространства специальной теории относительности. Идеи, развитые Эйнштейном в работе «К электродинамике движущихся тел» (1905), привели к более глубоким радикальным связям геометрии и физики. По-новому решена и проблема эфира, неразрывно связанная с проблемой пространства.

Стремясь избежать асимметрии в толковании физических явлений, поскольку асимметрия не свойственна самим явлениям, Эйнштейн отказывается от «светоносного эфира». Этот отказ нельзя трактовать ни как противоречие специальной теории относительности и теории эфира по их существу, ибо такого противоречия не существовало, ни как негативное отношение Эйнштейна к проблеме эфира, взятой в целом. Речь шла об одном аспекте этой проблемы, и в ее рамках Эйнштейн критиковал теорию эфира.

В 1907 г. в работе «О принципе относительности и его следствиях» рассмотрен вопрос о пространстве и времени в равномерно ускоренной системе отсчета. Введено «местное время» и «время системы отсчета», прообразы «собственного» и «координатного времени». Это было дальнейшим шагом в релятивизации времени; одновременно были найдены более глубокие связи пространства и времени в пределах одной ускоренной системы отсчета. В период подготовки общей теории относительности были сформулированы понятия псевдоевклидова пространства и понятие псевдориманова пространства, которое условно можно рассматривать как обобщение псевдоевклидова пространства. Понятие «риманово пространство» строится в той или иной форме на основе понятия «многообразия», в котором введена метрика. Пространство, рассматриваемое в общей теории относительности, псевдориманово, поскольку его касательные пространства псевдоевклидовы. Эйнштейн в подготовительный период создания

общей теории относительности уделяет основное внимание использованию математического аппарата, заложенного в фундаментальной работе Кристоффеля о преобразовании квадратичных дифференциальных форм и развитого Риччи и Леви-Чивита, создавших метод абсолютного дифференциального исчисления.

Эти новые методы более адекватно выражают новые пространственно-временные представления.

В 1913 г. Эйнштейн писал: «Метод абсолютного дифференциального исчисления позволяет обобщать установленные в первоначальной теории относительности системы уравнений для какого-либо процесса таким образом, что они включаются в схему новой теории. В эти уравнения всегда входят составляющие поля тяготения g_{ik} . Физически это означает, что эти уравнения объясняют влияние гравитационного поля на явления в изучаемой области» [26, стр. 269]. Речь пока идет о влиянии гравитационного поля на оптические и электромагнитные процессы при определении свойств часов и масштабов.

В это время была сформулирована связь гравитационного поля с фундаментальным тензором g . Вместо гауссовой кривизны Эйнштейн и Гроссман оперируют тензором Римана — Кристоффеля, из которого через композицию получен тензор кривизны второго ранга. Но этот тензор пока не введен в уравнения гравитационного поля, и, разумеется, тем самым еще не найдено было ковариантное уравнение гравитационного поля.

В работе 1915 г. «К общей теории относительности», в которой Эйнштейн восстановил временно оставленный им принцип ковариантности уравнений, он писал о триумфе тензорных методов в общей теории относительности: «Прелесть этой теории едва ли может скрыться от того, кто действительно понимает ее, она означает истинный триумф метода абсолютного дифференциального исчисления, развитого Гауссом, Риманом, Кристоффелем, Риччи и Леви-Чивитой» [26, стр. 426]. В работе «Уравнения гравитационного поля», в которой появилось уравнение тяготения с тензором $T_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu}T$, Эйнштейн писал, что «каждую физическую теорию, совместимую с частной теорией относительности, можно при помощи абсолютного дифференциального исчисления включить в схему общей теории относительности...» Это высказывание Эйнштейна показывает, что и пространственно-временные представления специальной теории относительности нельзя противопоставлять представлениям общей теории относительности, хотя в последней приходится вводить новую геометрию и иное измерение времени.

В 1916 г., полемизируя с Ф. Коттлером, Эйнштейн писал: «...общую ковариантность уравнений приходится покупать дорогой ценой, отказываясь от обычного измерения времени и евклидовой меры пространства. Коттлер считает, что можно обойтись

без таких жертв. Однако даже в рассмотренном им случае, когда система движется ускоренно в смысле Борна относительно галилеевской системы, приходится отказываться от обычного измерения времени. Отсюда с точки зрения теории относительности уже недалеко и до отказа от привычных пространственных измерений...» [26, стр. 507]. В 1917 г. Эйнштейн вновь подчеркнул, что геометрические свойства пространства обусловлены материей. Лишь полагая известным состояние материи, можно заключить о геометрической структуре мира. В мае 1920 г. Эйнштейн произнес речь в Лейденском университете, опубликованную под названием «Эфир и теория относительности». От «отрицания эфира» в своих первых работах Эйнштейн пришел к совместимости его с теорией относительности при определенных весьма жестких условиях, накладываемых на его существование.

Г. А. Лоренц оставил эфиру лишь одно механическое свойство — неподвижность. Эта неподвижность по отношению к определенной системе координат приводит к асимметрии теоретического построения, в то время как опытные данные отрицают существование какой бы то ни было асимметрии. Можно было предполагать, что эфира вообще не существует. Именно этот эфир, приводящий к асимметрии, и отрицал в своих работах Эйнштейн. Он писал: «В этом вопросе можно встать на следующую точку зрения. Эфира вообще не существует... Между тем ближайшее рассмотрение показывает, что специальная теория относительности не требует безусловного отрицания эфира. Можно принять существование эфира, не следует только заботиться о том, чтобы приписывать ему определенное состояние движения, иначе говоря, абстрагируясь, нужно отнять у него последний механический признак, который ему еще оставил Лоренц. Позднее мы увидим, что общая теория относительности оправдывает такое представление...» [26, стр. 685—686]. В период создания специальной теории относительности было существенно в первую очередь указать на асимметрию, с которой связано признание эфира. В период создания общей теории относительности было существенно подчеркнуть роль среды, передающей инерцию (эфир). Представления Эйнштейна об эфире всегда существенно отличались от представлений об эфире Ньютона, Френеля, Герца, Лоренца. Согласно общей теории относительности метрические свойства пространственно-временного континуума различны в окрестности отдельных пространственно-временных точек. Состояние пространства надо описывать с помощью гравитационных потенциалов, тем самым теряет смысл понятие «пустого пространства».

«Но, — пишет Эйнштейн, — таким образом, и понятие эфира снова приобретает определенное содержание, которое совершенно отлично от содержания понятия эфира механической теории света. Эфир общей теории относительности есть среда, сама по

себе лишенная всех механических и кинематических свойств. Но в то же время определяющая механические (и электромагнитные) процессы» [26, стр. 687]. Состояние эфира в общей теории относительности динамически определяется материей и состоянием эфира в соседних точках. «Резюмируя, можно сказать, что общая теория относительности наделяет пространство физическими свойствами; таким образом, в этом смысле эфир существует... Однако этот эфир нельзя представить себе состоящим из прослеживаемых во времени частей, таким свойством обладает только весома материя; точно так же к нему нельзя применять понятие движения» [26, стр. 689].

В 1921 г. Эйнштейн начал свои стаффордские лекции с краткого исследования происхождения наших представлений о пространстве и времени, сознавая, что касается спорного предмета. Априорная версия Канта для него неприемлема. Он доказал своими работами, что под влиянием фактов физика вынуждена ниспровергнуть понятия пространства и времени «с олимпа априорности». В 1926 г. в статье «Неевклидова геометрия и физика» Эйнштейн, вновь избегая спорных философских вопросов, анализировал отношения геометрии и физики. В древнейшие времена геометрия была полуэмпирической наукой. Она превратилась в математическую науку, когда было выяснено, что из небольшого числа аксиом можно вывести логическим путем большинство ее предложений. Это привело к представлению об априорном характере аксиом. Геометрия стала казаться наукой, предшествующей опыту. Основы евклидовой геометрии стали казаться незыблемыми. Лобачевский и Бояи оказали науке неоценимую услугу, построив логически непротиворечивую систему, отличающуюся от евклидовой. Особое значение Эйнштейн придает точке зрения Гельмгольца, согласно которой «предложения геометрии приобретают характер утверждений относительно реальных тел. Эта точка зрения была особенно ясно высказана Гельмгольцем; можно добавить, что без нее невозможно было бы практически подойти к теории относительности» [28, стр. 180].

Возможна и другая точка зрения, а именно возможно «отрицание существования предметов, соответствующих основным понятиям геометрии». Какие-либо положения относительно реальных предметов могут быть даны сочетанием геометрии и физики, содержание самой геометрии условно. Эйнштейн придерживается первой точки зрения, высказанной Гельмгольцем. Он отмечает заслугу Римана в развитии идей о соотношении между геометрией и физикой. Во-первых, он открыл эллиптическую геометрию — антитезу гиперболической геометрии Лобачевского, указав на возможность геометрического пространства конечной протяженности. Эта идея Римана привела к постановке вопроса о конечности физического пространства. Во-вторых, создав «риманову» геометрию, как результат применения гауссовой теории

поверхностей к континууму произвольного числа измерений, он, анализируя возникшие при этом трудности, пришел к выводу, что геометрические отношения тел обусловлены физическими причинами.

В 1930 г. Эйнштейн в статье «Проблема пространства, эфира и поля в физике» более подробно изложил свои взгляды на проблемы пространства. Развитие понятия пространства с точки зрения чувственных ощущений он изображает схемой «телесный объект — отношения положения телесных объектов — пространственный промежуток — пространство» [28, стр. 277]. Понятию пространства предшествует понятие телесного объекта комплексов чувственных ощущений. Потребность мысленно уяснить связи телесных объектов друг с другом приводит к понятиям, которые соответствуют пространственным отношениям этих объектов. Следующая ступень — это понятие промежутка между объектами, не зависящее от выбора заполняющего тела. Это понятие и служит отправным пунктом для понятия пространства. Отсюда следует схема истории учения о пространстве. Понятие пространства как реального объекта существовало давно. Геометрия Евклида ограничивалась только понятием объекта (точка, прямая, отрезок, плоскость) и отношениями положения между объектами (пересечение прямых, плоскостей, положения точек на прямых). Пространство как континуум не входило в геометрию Евклида. Понятие это впервые введено Декартом, у которого геометрические образы выглядели как части трехмерного континуума. Это пространство как целое в смысле Декарта необходимо было для построения физики Ньютона, для уяснения понятия ускорения, инерции. С появлением волновой теории света и электромагнитной теории Фарадея — Максвелла выяснилось, что в свободном от материальных тел пространстве существуют особые состояния. Физикам XIX в. казалось абсурдным приписывать эти состояния самому пространству, и они приписывали их эфиру.

В специальной теории относительности физическое пространство расширилось до четырехмерного пространства, оставшегося жестким и абсолютным, как и ньютоново пространство.

Структура пространства в общей теории относительности абсолютно не определена. Определенность оно приобретает, если известны законы, которым подчинено метрическое поле $g_{\mu\nu}$. Метрическое поле одновременно является и гравитационным полем. «Поскольку гравитационное поле определяется конфигурацией масс и изменяется вместе с ней, то и геометрическая структура этого пространства зависит от физических факторов. Следовательно, согласно этой теории, пространство, как и подозревал Риман, уже не является абсолютным и структура пространства зависит от физических условий. Геометрия (физическая) — это уже не изолированная наука, замкнутая в себе, как геометрия Евклида» [28, стр. 282].

В 1952 г. в качестве приложения к 15-му английскому изданию книги «О специальной и общей теории относительности» Эйнштейн вновь изложил свои взгляды на пространство и время, дополнив то, что им более кратко выражено в предыдущих статьях.

Во-первых, Эйнштейн поясняет, что характерной особенностью ньютоновой физики является то, что пространству и времени, так же как и материи, приписывается независимое реальное существование. Основа и неизбежность этой трактовки коренятся в понятии «ускорения», входящего как основной элемент в закон движения.

«Таким образом, ньютоново пространство должно мыслиться как и «покоящаяся» или, по крайней мере, как «неускоренное», чтобы ускорение, появляющееся в законе движения, можно было рассматривать как величину, имеющую физический смысл. Почти то же самое справедливо и для времени, которое также входит в определение понятия ускорения». С этими представлениями о пространстве и времени связан весь путь развития от специальной к общей теории относительности.

5. ПАРАДОКС ЧАСОВ

В 1905 г. в первой и основной работе Эйнштейна по специальной теории относительности «К электродинамике движущихся тел» рассмотрен вопрос о физическом смысле полученных уравнений преобразований координат и времени. Полагаем, что часы, находясь в покое относительно «покоящейся» системы, показывают время t , а находясь в покое относительно системы, движущейся прямолинейно и равномерно, показывают время τ . Часы движущейся системы помещены в начале координат ее. Величины t , τ и $x = vt$ связаны соотношением

$$\tau = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \left(t - \frac{v}{c^2} x \right)$$

или

$$\tau = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \left(t - \frac{vvt}{c^2} \right) = \frac{t \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = t \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}},$$

$$\tau = t \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = t - \left(1 - \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \right) t.$$

Показание часов, наблюдаемое из покоящейся системы, отстает в секунду на $1 - \sqrt{1 - v^2/c^2}$ сек, или, с точностью до величины четвертого и высших порядков, отстает на величину