

$G\hbar$ (но не G и \hbar в отдельности или в других степенях), и это же произведение *) вошло в выражение волновой функции всей системы. Тем самым подтверждается внутренняя логическая замкнутость рассматриваемого построения. При этом «замкнутость» теории не исключает, конечно, возможности рассмотрения в теории других частиц и полей (что потребует и новых констант). Утверждается лишь, что распространение гравитационных волн и вызываемое ими общее плавное искривление пространства могут быть полностью поняты и описаны, включая квантовые эффекты, в теории с двумя размерными величинами, $l_{\text{пл}}$ и c , и без привлечения других полей и частиц.

В настоящее время предпринимаются настойчивые попытки объединения теорий электромагнетизма и слабого взаимодействия, в близкой перспективе — их объединение с теорией адронов. Поэтому особенно важно выяснение принципиальных вопросов связи разных полей.

§ 20. Направление времени

Физик XVIII века без каких-либо обоснований принимал существование абсолютного пространства и независимого от него абсолютного времени с заданным направлением течения времени от прошлого к будущему. При этом, например, механическую задачу о движении он мог решать и для определения будущего (предсказание затмений) и для определения движения в прошлом, приводящего по законам механики к известному состоянию в данный момент (вычисление прошлых затмений). Специальная теория относительности, связавшая время и пространство преобразованиями Лоренца, ничего не изменила в вопросе о знаке времени: как известно, световые конусы ($r=ct$, $r=-ct$), ограничивающие «абсолютное будущее» и «абсолютное прошлое» по отношению к выбранному «событию» (четырёхмерной точке $r=0$, $t=0$), инвариантны относительно преобразований Лоренца. Машина времени Уэллса для путешествия в прошлое невозможна, как и во времена Ньютона.

Вопрос о направлении времени возник около 100 лет назад в связи с теоремами статистики и термодинамики о необратимом возрастании энтропии в замкнутой системе. Были предложения определить будущее как то направление времени, для которого происходит рост энтропии. Сравнительно недавно высказывалась Голдом (1962) идея о связи направления времени («стрелы времени») и нейтринно.

*) Оно равно, очевидно, $l_{\text{пл}}^2 = 10^{-66} \text{ см}^2$. Скорость света везде выше принята за единицу. Заметим, что при инвариантном способе выделения расходящихся интегралов в квантовой теории гравитации, который используют Т. Хуфт и Вельтман (1974), поправка вида $\frac{1}{G} \int R dV$ автоматически не возникает.

В ряде работ, в том числе и в московском докладе Хойла (ноябрь 1963), предлагается определить положительное направление времени по расширению Вселенной, т. е. увеличению расстояний между галактиками; если раньше галактики сближались, то и время, по Хойлу, текло в противоположную сторону по сравнению с современным.

По мнению авторов, принципиально неправильны попытки связать направление времени только с теми или иными конкретными и сложными явлениями. Различие между прошлым и будущим существует в любом процессе, в том числе и в системе, состоящей из двух частиц. Физика локальна, и явления, происходящие с парой частиц, не должны зависеть от роста энтропии в какой-то другой, не взаимодействующей с частицами сложной системе или от удаления галактик. В качестве возражения последнему утверждению обычно выдвигают обратимость законов механики и электродинамики — возможность замены t на $-t$ в уравнениях.

Однако для решения уравнений нужно, кроме самих уравнений, задать начальные условия. В теории, в которой рассматривается поле (для определенности электромагнитное), мы задаем условие излучения, которое несимметрично относительно прошлого и будущего.

В самом деле, при движении зарядов они излучают электромагнитные волны и энергия движения самих зарядов уменьшается по мере роста времени, в будущем. Потерю энергии можно рассматривать как результат воздействия волнового поля на сами заряды, создающие это поле.

Благодаря обратимости уравнений можно задать такое поле сходящейся волны, чтобы волна, действующая на заряды, увеличивала бы энергию системы. Однако ясно, что такая постановка задачи искусственна, нет причин для того, чтобы приходящие извне волны имели частоты и фазу, нужные для раскачки системы. Между тем волны, излучаемые системой, в силу самого их происхождения находятся в фазе с движением системы. Именно это фазовое соотношение обеспечивает то, что поле излучаемой волны тормозит движение зарядов, отбирает от них энергию. Таким образом, условие излучения или, выражаясь более общо, принцип причинности позволяет однозначно определить будущее и прошлое.

Попытки изгнать из теории понятие поля, которые делались 20—30 лет назад, с заменой поля дальнедействием и с рассмотрением на равных основаниях запаздывающего и опережающего взаимодействия, предпринимались в связи с трудностями теории элементарных частиц [Уилер и Фейнман (1945)]. В такой теории каждая частица взаимодействует с остальными частицами, но не сама с собой, чтобы избежать бесконечности в собственной энергии.

Однако вскоре после этого правильный способ рассмотрения взаимодействия частицы с тем полем, которое создает она сама (так

называемая теория перенормировки), привел к результатам, блестяще согласующимся с точными опытами: сдвиг Лэмба — Резерфорда, аномальный магнитный момент электрона. Теории действия на расстоянии были опровергнуты [см. Фейнман (1948, 1967)]. Тем самым отпали и теории, включающие «опережающее» взаимодействие, т. е. сходящиеся волны.

Итак, направление времени, заданное на языке математической физики условием излучения, объективно существует в природе.

Необратимость термодинамических явлений есть следствие законов, относящихся к элементарным частицам и элементарным явлениям столкновений частиц. Таким образом, закон роста энтропии формулируется после того, как само понятие будущего уже определено. Отсюда следует, что рост энтропии удобно использовать практически для определения направления роста времени (поскольку закон $\frac{dS}{dt} > 0$ установлен), но это есть именно следствие.

Наконец, вовсе не обоснованными представляются попытки установления связи стрелы времени с космологией, с расширением Вселенной.

Верно то, что мы живем в расширяющемся мире или, по крайней мере, в таком мире, который в настоящее время является расширяющимся.

Можно ли это частное свойство возвести в ранг принципа и использовать для определения направления стрелы времени?

Можно ли сказать: «...будущим называется та эпоха, когда радиус мира (или, что эквивалентно, когда расстояние между данной парой далеких галактик) больше, чем в настоящее время»? Такой взгляд, как уже упоминалось выше, высказывался в литературе [примеры см., например, Гриб (1974)]. Но приняв эту точку зрения, мы должны были бы принять и ее следствия.

В закрытом мире ($\Omega > 1$) после достижения максимального радиуса a_m начинается сжатие. Значит, если стрела времени определяется космологией, то в момент, соответствующий a_m , стрела меняет направление.

Вывод этот явно бессмыслен.

Представьте себе ракету, запущенную с Земли со скоростью меньше второй космической, $v_0 < 11$ км/сек. Такая ракета сперва поднимается, удаляется от Земли, затем, достигнув определенной максимальной высоты h_m , она начинает падать.

Ясно, что на высоте h_m не происходит перестройка каких-либо физических законов в ракете: в частности, монотонно идут часы, помещенные на ракете. Переход от расширения к сжатию в закрытой Вселенной полностью аналогичен переходу от подъема к опусканию ракеты. Поэтому совершенно ясно, что в момент максимального

расширения Вселенной стрела времени не меняет направления. Если бы она сменила направление, то в сжимающейся Вселенной лучи света, например, вместо того, чтобы излучаться звездами и уходить в мировое пространство, входили бы в звезды и т. д. Это явно бессмысленно. Если $\Omega > 1$, то после смены расширения сжатием еще очень долго плотность излучения во Вселенной будет мала, звезды будут излучать свет и все локальные процессы во Вселенной будут продолжать течь в том же направлении.

Связь стрелы времени с расширением есть (очень важное, разумеется) свойство нашей Вселенной в настоящее время, но эта связь не может быть использована как определение стрелы времени для определения понятия будущего.

Приведенные соображения весьма элементарны. Единственным извинением того, что мы их здесь приводим, является настойчивое повторение ошибочных взглядов в литературе.