

Г Л А В А 23

ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ВБЛИЗИ СИНГУЛЯРНОСТИ И РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ ТЯГОТЕНИЯ

§ 1. Введение

Общая теория относительности приводит к выводу о том, что Вселенная в прошлом находилась в сингулярном состоянии. Этот вывод основан на классических уравнениях ОТО и на определенных представлениях о правой части уравнений, описывающей поведение вещества, т. е. частиц и полей, заполняющих пространство.

Сингулярность означает, по-видимому, достижение бесконечных значений кривизны пространства-времени и бесконечной плотности вещества, по крайней мере, в рамках вышеописанной теории. Тем самым становится невозможным продолжить решение еще дальше в прошлое.

В предыдущей главе мы подчеркивали, что более модное и более точное определение сингулярности заключается в том, что не могут быть продолжены мировые линии частиц, в том числе нулевые линии — траектории частиц с нулевой массой покоя.

Но в физике известны законы сохранения зарядов, которые на языке частиц формулируются как непрерывность мировой линии частицы, как невозможность для этой мировой линии где-то начаться или окончиться. Значит, нужно избежать сингулярности или изменить ее. Но, с другой стороны, когда кривизна и плотность приближаются к бесконечности, вполне вероятно и возможно, что исходные положения (ОТО, свойства вещества) изменятся. Таким образом, вблизи сингулярности нужно и можно ожидать выхода за рамки тех представлений, которые использовались ранее. Ранее рассматривались процессы рождения и аннигиляции пар нуклонов и антинуклонов, позитронов и электронов в горячем веществе при $z \sim 10^{13} - 10^9$, процессы нуклеосинтеза, поведение нейтрино (особенно в анизотропных моделях). Эти процессы идут вблизи сингулярности по космологической шкале времени, $t \ll t_0$. В самом деле, процессы идут в период $t \sim 10^{-6} - 100$ сек, тогда как $t_0 \sim 5 \cdot 10^{17}$ сек. Но эти процессы происходят в условиях, когда действительна классическая ОТО. Поэтому они изложены раньше и не попадают в данный раздел.

Мы начнем здесь изложение с рассмотрения космологических следствий теорий Хагедорна и Омнеса. Затем здесь будут рассматриваться специфически квантовые явления в гравитационном поле. При этом сперва будут рассмотрены необходимые следствия экспериментально установленного факта квантования различных полей (электромагнитного, нейтринного и т. д.). Метрика и геометрия пространства-времени при этом будут считаться классическими, детерминированными. Точнее, мелкоаппроксимированная флуктуирующая часть метрики (гравитационные волны) рассматривается квантовым образом вместе с электромагнитным и другими полями на фоне детерминированной усредненной метрики.

Исследуется обратное влияние квантовых полей на метрику. В определенных условиях это влияние можно рассматривать как поправку к классическим уравнениям ОТО. В § 7 кратко рассматривается квантование Вселенной как целого — рассмотрение эволюционных путей как траекторий, имеющих различную вероятность или, точнее, комплексную амплитуду вероятности. Уилер ввел понятие сверхпространства траекторий. Мизнер рассматривает минисверхпространство, ограничиваясь однородными моделями Вселенной. Так как Вселенная велика — даже если она замкнута, она содержит порядка 10^{80} барионов и 10^{90} фотонов, — то такой глобальный подход без учета локальных эффектов (наступающих раньше) представляется нефизичным (ср. § 6 гл. 21).

Естественно задать вопрос, не могут ли другие законы физики измениться вблизи сингулярности. В § 8 дан обзор имеющихся в литературе предположений о нарушении закона сохранения барионного заряда. Рождение барионов (не компенсированное рождением антибарионов) в количестве порядка 10^{-8} от количества других частиц могло бы объяснить наблюдаемую в настоящее время удельную энтропию Вселенной. Цель авторов заключается в том, чтобы, задавшись начальным зарядово-симметричным состоянием Вселенной, получить (в результате эволюции с несохранением барионного заряда) Вселенную с избытком вещества над антивеществом.

Проблема состояния Вселенной вблизи сингулярности еще очень далека от окончательного разрешения. Поэтому возможны и сосуществуют диаметрально противоположные гипотезы. Наряду с описанной выше зарядово-симметричной гипотезой (и зарядово-симметричными гипотезами Альвена — Клейна и Омнеса) возможна и 100%-ная зарядово-несимметричная космологическая гипотеза. В этой последней рассматривается холодное начальное состояние Вселенной и единый спектр возмущений геометрии и плотности. Длинноволновая часть спектра ответственна за образование галактик, коротковолновая часть спектра дает акустические волны. Эти волны, затухая, создают энтропию.

В данной главе рассмотрение явлений вблизи сингулярности послужило поводом к расшатыванию классических теорий. По этому

принципу в ней (§§ 10 и 11) рассмотрены и некоторые другие предложения, выходящие за рамки стандартной теоретической физики, даже если они не связаны прямо с сингулярностью. К этим предложениям относится прежде всего «теория стационарного состояния» (Steady State Theory) и теория «С-поля», развитые Хойлом и др. (§ 10). Рассмотрен так называемый принцип Маха — гипотеза прямого влияния всей Вселенной на каждое локальное явление. Конкретное проявление этой связи Дирак усматривает в численных совпадениях между локальными физическими константами и величинами, характерными для Вселенной как целого.

В § 12 рассматриваются некоторые обобщения ОТО и возможное космологическое значение этих обобщений.

В § 13 рассматриваются экзотические модели Вселенной с необычной топологией. Интересные идеи по некоторым затронутым вопросам читатель найдет, например, в книгах Уилера (1968), Шамы (1971), Вайнберга (1972). О новых явлениях в связи с современной теорией элементарных частиц см. Киржниц, Линде (1974), Зельдович, Кобзарев, Окунь (1974).

В заключение этих вводных замечаний авторы хотят еще раз подчеркнуть свою позицию.

Мы глубоко убеждены, что в необычных условиях вблизи космологической сингулярности должны видоизменяться не только известные фундаментальные физические законы, но и такие физические понятия, как метрическое непрерывное пространство-время и т. п., и мы излагаем в этой главе попытки анализа таких видоизменений, в том числе и наши собственные попытки.

Мы полагаем, что вне таких экзотических условий в диапазоне различных физических параметров, достигнутых в лаборатории или надежно проверенных исследованиями ближайшего космоса, фундаментальные физические законы общеприменимы для описания эволюции Вселенной [см. Гинзбург (1971)]. Теории, основывающиеся на других предположениях, критикуются в данной главе.

§ 2. Космологические следствия теории Хагедорна

Для теории Хагедорна (§ 4 гл. 6) характерны две особенности:

1) максимум температуры порядка $kT \sim m_{\kappa} c^2$, $T_{\max} \sim (1-2) \times 10^{12}$ °К;

2) «мягкое» уравнение состояния, $P \ll \epsilon$, при температуре, приближающейся к максимуму.

При температуре ниже T_{\max} , т. е. при $T < 5 \cdot 10^{11} - 10^{12}$ °К, термодинамические свойства не отличаются от свойств обычной теории, рассматривающей конечное небольшое число сортов частиц. Таким образом, теория нуклеосинтеза и теория реликтового излучения остаются без изменения. Однако есть и проблемы, зависящие от того, был ли период, когда $T > T_{\max}$.