

ПЕРВИЧНЫЕ ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ И КОНЕЧНАЯ СУДЬБА ЧЕРНЫХ И БЕЛЫХ ДЫР

§ 13.1. Первичные черные дыры

Черная дыра, как мы уже знаем, возникает, когда какая-либо масса сжимается до размеров меньше гравитационного радиуса (§ 2.6). В черные дыры должны превращаться звезды достаточно большой массы в конце их эволюции [Зельдович, Новиков (1971*)]. Чем меньше масса вещества, тем до большей плотности ее надо сжать, чтобы превратить в черную дыру. При больших плотностях возникают мощные силы давления, препятствующие сжатию. Поэтому в современной Вселенной возникновение черных дыр с $M \ll M_{\odot}$ невозможно. Однако в начале расширения Вселенной все вещество было в состоянии огромной плотности.

Зельдович и Новиков (1966*, 1967*), а затем Хокинг (1971а) высказали гипотезу о возможности образования черных дыр на ранних этапах космологического расширения Вселенной. Такие черные дыры получили название *первичных*. Для возникновения первичных черных дыр нужны специфические условия. Лифшиц (1946*) показал, что малые возмущения в однородной изотропной горячей Вселенной (с уравнением состояния материи $p = \epsilon/3$) не могут приводить к образованию больших неоднородностей. Горячая Вселенная устойчива относительно малых возмущений [см. Бисноватый-Коган и др. (1980)]. Для образования первичных черных дыр необходимо, чтобы в метрике, описывающей Вселенную, с самого начала расширения были большие отклонения от однородности (т.е. гравитационное поле было сильно неоднородным), хотя распределение плотности вещества по пространству было однородным при приближении к началу космологического расширения. Когда в ходе расширения Вселенной величина $l = ct$, где t – время, прошедшее с начала расширения, станет порядка линейного размера неоднородности метрики, появляется возможность образования черной дыры с массой, содержащейся к моменту t в объеме l^3 . Таким образом, возможно формирование черных дыр с массой, существенно меньшей звездных, если такие дыры возникают достаточно рано (см. далее).

Первичные черные дыры представляют особый интерес, так как квантовое испарение Хокинга существенно именно для черных дыр малой массы, а такими могут быть только первичные черные дыры *).

Мы не будем здесь касаться астрофизических аспектов проблемы [см. Новиков и др. (1979)], а остановимся только на некоторых принципиаль-

*) Заметим, что квантовое испарение массивных и даже сверх массивных черных дыр может быть существенным для далекого будущего Вселенной.

ных положениях, связанных с возможностью образования первичных черных дыр в ранней Вселенной*). Прежде всего возникают следующие два вопроса:

1) Каковы должны быть отклонения от метрики однородной изотропной модели Вселенной, чтобы черные дыры действительно возникали?

2) Как будет происходить акреция окружающего горячего вещества на возникшую черную дыру и как будет меняться в связи с этим ее масса?

Второй вопрос связан с тем, что уже в работе Зельдовича и Новикова (1966*) было отмечено: если установится стационарный поток газа на черную дыру, то масса ее будет катастрофически быстро расти, а если сразу же после возникновения черной дыры такая стационарная акреция не возникнет, то в дальнейшем ею можно полностью пренебречь, так как плотность окружающего газа в расширяющейся Вселенной быстро падает.

Ответ на оба вопроса требует выполнения численного счета на ЭВМ. Соответствующие расчеты были проделаны Надежиным и др. (1977, 1978*), Новиковым и Полнаревым (1980*) для случая сферической симметрии.

Основные результаты этих расчетов состоят в следующем. Для возникновения черной дыры необходимо, чтобы безразмерная амплитуда возмущения метрики $\delta g_{\beta}^{\alpha}$ была порядка 0,75–0,9. Неопределенность ответа связана с зависимостью решения от профиля возмущения. Напомним, что пока $l = ct$ много меньше линейного размера возмущенной области, амплитуда возмущения метрики не меняется со временем. При $\delta g_{\beta}^{\alpha}$, меньших 0,75–0,9, после того как $l = ct$ становится порядка размеров возмущения, возникшие возмущения плотности превращаются в звуковые волны.

Тем самым получен ответ на первый из поставленных вопросов.

Ответ на второй вопрос выглядит так. Численный счет показывает, что уже в момент образования черной дыры ее масса составляет 10–15% от массы, охваченной к этому моменту масштабом $l = ct$. Это означает, что акреция газа на возникшую черную дыру не может стать катастрофической. Расчеты подтверждают – масса черной дыры увеличивается вследствие падения в нее окружающего газа лишь незначительно. О возможном количестве первичных черных дыр во Вселенной см. Новиков и др. (1979), Карп (1983).

§ 13.2. Классическая и квантовая неустойчивости белых дыр

Решения уравнений Эйнштейна, описывающие черные и белые дыры, формально обладают рядом сходных свойств. В частности, использование симметрии этих уравнений относительно обращения времени позволяет установить связь между решениями, описывающими образование черной дыры и взрыв белой дыры. При всем этом физические свойства черных и белых дыр и, в частности, их наблюдательные проявления и характер их взаимодействия с окружающим веществом существенно отличны. В этом нет ничего удивительного, поскольку одинаковость проявлений черной и белой

*) О возможности возникновения черных дыр во время фазовых переходов в ранней Вселенной см. Сато и др. (1981), Кодама и др. (1982), Маeda и др. (1982), Кардашев, Новиков (1982).