

Черные дыры

12.1. ВВЕДЕНИЕ

Мы видели в предыдущих главах, что для белых карликов, как и для нейтронных звезд, существует максимальное возможное значение массы. Что произойдет с нейтронной звездой, если она аккрецирует столько вещества, что ее масса станет больше предельной? Какова судьба коллапсирующего ядра массивной звезды, если масса ядра слишком велика, чтобы образовать нейтронную звезду? Согласно общей теории относительности, в этом случае никакая сила не может задержать коллапс. По мере углубления коллапса гравитационные силы вблизи объекта становятся все сильнее. В конце концов ничто не может вырваться из объекта во внешний мир, даже свет. Черная дыра родилась.

Черная дыра определяется, как область пространства-времени, которая не может сообщаться с внешней Вселенной. Граница этой области называется поверхностью черной дыры, или *горизонтом событий*¹⁾.

Судьба коллапсирующего вещества после того, как оно пересечет поверхность черной дыры, не известна. Плотность объекта с массой $1 M_{\odot}$ при образовании черной дыры должна составлять около 10^{17} г/см³, а для больших масс она меньше. Можем ли мы утверждать, что при столь экстремальных плотностях не существует каких-либо до сих пор неизвестных источников давления, способных задержать коллапс? Ответ заключается в том, что во время образования черной дыры уже слишком поздно препятствовать коллапсу: вещество должно двигаться по мировым линиям *внутри* местного светового конуса, а геометрия пространства-времени деформируется настолько, что не может ускользнуть даже «идуший наружу» световой луч. В действительности, поскольку в теории относительности гравитируют все формы энергии, увеличение давления только ускоряет конечные стадии коллапса.

Если экстраполировать уравнения Эйнштейна внутрь черной дыры, то в конце концов они нарушатся: развивается *сингулярность*. Квантовой теории гравитации пока не существует, и некоторые полагают, что в такой теории сингулярности не будет. Ее заменят конечные, хотя и невероятно экстремальные условия.

¹⁾ Строго говоря, горизонт событий — это трехмерная гиперповерхность в пространстве-времени (2-поверхность, существующая в течение некоторого интервала времени). Однако мы будем свободно говорить о горизонте событий или о поверхности черной дыры как о 2-поверхности в данный момент времени.

Упражнение 12.1. Постройте выражение для плотности на основе анализа размерностей из c , G и \hbar . Оцените численно эту «планковскую плотность», при которой становятся важными квантовые гравитационные эффекты.

Ответ: $\rho \sim 10^{94}$ г/см³.

Пока сингулярность скрыта внутри горизонта событий, она не может влиять на внешний мир. Как говорят, сингулярность «причинно отключена» от окружающего мира. Мы можем продолжать использовать общую теорию относительности для описания наблюдаемой части Вселенной, хотя и эта теория нарушается внутри черной дыры.

Можно ожидать, что решения уравнений Эйнштейна, описывающих равновесные черные дыры, окажутся чрезвычайно сложными. В конце концов черные дыры могут образовываться из звезд с самыми различными распределениями масс, форм (мультипольные моменты), магнитных полей, моментов количества движения и т.д. Любопытно, однако, что самое общее решение для стационарной черной дыры известно в аналитической форме. Оно зависит только от трех параметров: массы M , момента количества движения J и заряда Q черной дыры. Вся остальная информация о начальном состоянии теряется, излучаясь в виде электромагнитных и гравитационных волн во время коллапса. Оставшиеся три параметра — это независимые и наблюдаемые величины, которые полностью характеризуют стационарную черную дыру¹⁾. Эта ситуация отражена в афоризме Уилера: «У черной дыры нет волос».

Масса черной дыры поддается определению, например, посредством использования третьего закона Кеплера для спутников, находящихся в гравитационном поле вдали от черной дыры. Заряд можно наблюдать по кулоновским силам, действующим на пробный удаленный заряд. Момент количества движения доступен для наблюдения по неньютоновским гравитационным эффектам. Например, гироскоп, свободный от внешних воздействий, будет прецессировать относительно инерциальной системы на бесконечности (эффект Лензе-Тирринга).

12.2. ИСТОРИЯ ИДЕИ ЧЕРНОЙ ДЫРЫ

Еще в 1795 г. Лаплас [344] обратил внимание на следствие закона тяготения Ньютона и ньютоновской корпускулярной теории света, согласно которому свет не может покинуть объект, обладающий достаточно большой массой и малым радиусом. Несмотря на столь раннее предсказание возможности существования черных дыр, эта идея не нашла много приверженцев даже после того, как была сформулирована общая теория относительности.

¹⁾ Полное обсуждение вопроса см. в [109].