

ды, одна из компонент которых является белым карликом, известны. Быть может, самым известным примером служит Сириус; вторая его компонента — одна из самых ярких звезд, видимых в северном полушарии. Но если бы даже белые карлики сгруппировались в единую систему, то вовсе не обязательно, чтобы они оказались настолько близко друг к другу, так что период обращения будет необычайно мал, а гравитационное излучение чрезвычайно велико. Вместе с тем белые карлики обладают достаточно малыми размерами и необходимая близость их друг к другу может быть достигнута без столкновения отдельных компонент; что касается их масс, то они достаточно велики, чтобы обеспечить заметное гравитационное излучение.

18. Поиски гравитационных волн

Системы, образованные многими звездами, генерируют гравитационные волны, но, как правило, эти волны несут с собой энергию, весьма незначительную по сравнению с лучистой энергией, испускаемой раскаленными звездами. Кроме того, гравитационные волны, обусловленные системами, состоящими из многих звезд, обладают очень низкими частотами, тесно связанными с периодами обращения в этих системах. Чтобы оценить периоды обращения, с которыми можно встретиться у двойных звезд, можно воспользоваться простым соотношением: период обращения двойных звезд по порядку величины равен времени, за которое свет пересекает орбиту двойной звезды, умноженному на квадратный корень из отношения (d/R). Вернемся снова к случаю двух белых карликов, совершающих орбитальное движение относительно друг друга в тесной близости. В этом случае период обращения будет составлять доли минуты, а частота будет лежать в интервале 0,1—0,01 *гц*. Но все периоды обращения известных астрономических объектов оказываются значительно больше; они равны по меньшей мере нескольким часам (для спутников в нашей солнечной системе) и достигают нескольких недель (у двойных звезд).

Разумеется, скопления звезд вовсе не являются единственными астрономическими объектами, которые могут генерировать гравитационные волны. Нейтральные газовые облака, образованные электрически заряженными

частицами (нейтральное в среднем газообразное вещество, состоящее из электрически заряженных частиц, называется *плазмой*), по-видимому, в изобилии присутствуют у многих астрономических объектов, у которых наблюдались мощные взрывы или извержения. Крабовидная туманность, так же как и многие другие остатки *сверхновых звезд* (взорвавшиеся звезды), содержит в себе светящиеся облака газа, которые, по всей вероятности, и представляют собой плазму. Радиогалактики и квазары почти наверняка окружены облаками плазмы. В плазме могут возникать колебания, которые ведут к генерации электромагнитных и гравитационных волн. Дать сколько-нибудь надежные оценки интенсивности такого излучения очень трудно. Наконец, катастрофические события, сопровождающие, по всей вероятности, гравитационный коллапс, могут дать всплеск гравитационного излучения (см. Дополнение 5). Гравитационное излучение, возникающее в этих случаях, может иметь значительно более высокие частоты, чем частота гравитационного излучения двойных звезд. В настоящее время все эти процессы следует считать все же довольно сомнительными.

Что касается генерации гравитационных волн в лабораторных условиях, то их интенсивность зависит от тех масс, которые удастся ввести в колебательный процесс, и от частоты и амплитуды созданных колебаний. Джозеф Вебер (университет в Мериленде) предложил несколько возможных схем, аналогичных способам получения ультразвуковых волн; однако все процессы здесь должны осуществляться в неизмеримо большем масштабе. Увы, ни один из проектов реализован не был.

Но как же все-таки обнаруживаются гравитационные волны? Ускорение одного пробного тела обнаружить невозможно. Принцип эквивалентности указывает на невозможность построения локальной инерциальной системы отсчета, по отношению к которой небольшие тела совершали бы движения взад и вперед под действием проходящей гравитационной волны; волна будет оказывать в точности то же действие на свободно падающую систему отсчета. Обнаружить гравитационную волну можно, лишь опираясь на то обстоятельство, что она сообщаст различное ускорение телам, находящимся в различных точках пространства. Практически применимое устройство представляет собой незначительное видоизменение иде-

ального детектора гравитационных волн, состоящего из нескольких свободно падающих пробных тел небольшого размера, несколько смещенных относительно друг друга в пространстве. Речь идет об одном достаточно протяженном теле, в котором за счет различия гравитационного ускорения в разных точках возникают упругие напряжения. Именно такого типа устройство использовал Вебер в своем проекте детектора гравитационных волн. Чувствительный элемент этого детектора состоит из большого алюминиевого блока, снабженного измерителями напряжений. Размеры алюминиевого блока выбраны таким образом, чтобы он находился в резонансе с частотой около 1500 *гц*. В области частот, близких к 1500 *гц*, детектор имеет чувствительность, во много раз превышающую его же чувствительность при других частотах.

На чувствительности лабораторных детекторов гравитационных волн отрицательно сказываются их относительно малые размеры (обычно около метра). Но длина гравитационной волны на резонансной частоте доходит до сотни километров, различие в ускорении, испытываемое различными частями детектора, может быть резко увеличено за счет возрастания размеров детектора. Поэтому предлагалось даже использовать в качестве детектора гравитационных волн земной шар, правда речь шла уже о более низких частотах. Из сейсмографических записей мощных землетрясений, а также и из теоретических соображений вытекает, что земной шар может резонировать как целое на многие частоты (речь идет об упругих колебаниях), причем самые низкие частоты соответствуют периоду колебаний от нескольких минут до получаса. Лишь некоторые из колебательных мод Земли могут возбуждаться гравитационными волнами; наиболее симметричные моды, при возбуждении которых все участки Земли движутся внутрь или наружу по радиусу, испытывая поочередно сжатие и расширение, не могут возникать за счет напряжений, потому что по своей природе натяжения влекут за собой сдвиговое движение (приводящее к изменению формы, но не объема). Во всяком случае, вполне возможно выделение сдвиговых мод с помощью сейсмических детекторов или других устройств подобного типа.

Наконец, можно подумать и о том, чтобы в качестве базы, на концах которой ищется различие в ускорении,

взять, с одной стороны, искусственный спутник Земли, а с другой стороны, Землю. Хотя вполне возможно обнаружить совсем незначительные изменения в относительной скорости с помощью доплеровского смещения частоты сигнала, испускаемого радиопередатчиком на Земле и ретранслируемого спутником, другие эффекты, такие, например, как обычное ньютоновское притяжение других тел нашей солнечной системы, будут смазывать наблюдаемую картину, и не исключено даже, что полностью забьют сигналы, которые несут с собой гравитационные волны, возникшие далеко за пределами нашей солнечной системы.

До сих пор никаких следов гравитационных волн обнаружено не было, и нет никаких надежд на то, что в ближайшем будущем будет достигнут успех в этом направлении, хотя в 1967 г. Вебер сообщил о некоторых наблюдениях на своем детекторе, которые могли бы быть интерпретированы как прием гравитационных волн.

19. Космология

Общая теория относительности, едва появившись на свет, стимулировала исследования в области космологии. *Космология* имеет дело со всей Вселенной в целом, она занимается ее строением и развитием. Как и любая область научного исследования, космология имеет два аспекта — наблюдательный и теоретический.

С точки зрения наблюдательной астрономии всегда интересовались крупномасштабной структурой видимых астрономических объектов. Астрономы уже давно обнаружили, что неподвижные звезды группируются в грандиозные скопления, называемые галактиками. Наша солнечная система входит в галактику, содержащую несколько сотен миллионов звезд. Не все галактики похожи друг на друга; разница между ними отражает — по крайней мере частично — различные стадии развития, начинающиеся, быть может, с первоначального объединения звездного материала в относительно небольшие структуры с последующим образованием более сложных структур (ответвлений) и исчезновением отдельных объектов, — содержащих заметное количество вполне оформившихся звезд. Некоторые галактики обнаруживают следы взрывных явлений, охватывающих большую часть галактики. Мы еще не знаем, являются ли эти галактиче-