

Глава 1

Гибель звезд и образование компактных объектов

1.1. ЧТО ТАКОЕ КОМПАКТНЫЕ ОБЪЕКТЫ?

Рассказ о компактных объектах логично начать с того места, где заканчивается история нормальной звездной эволюции. Компактные объекты — белые карлики, нейтронные звезды и черные дыры — «рождаются», когда «гибнут» нормальные звезды, т.е. когда оказывается израсходованной большая часть ядерного горючего звезды.

Все три типа компактных объектов отличаются от нормальных звезд двумя фундаментальными признаками. Во-первых, израсходовав ядерное горючее, они перестают сопротивляться гравитационному коллапсу за счет термодинамического давления. Белые карлики удерживает от коллапса давление вырожденных электронов, а нейтронные звезды — главным образом давление вырожденных нейтронов. Черные же дыры — звезды полностью сколлапсированные, т.е. это звезды, которые уже не могут противостоять собственной силе тяготения и, следовательно, сжимаются вплоть до сингулярности. Исключая спонтанно излучающие черные «мини»-дыры с массами менее 10^{15} г и радиусом не более 1 ферми, все три типа компактных объектов являются по существу статическими в течение периода порядка времени жизни Вселенной. Они представляют собой конечную стадию звездной эволюции.

Вторая характерная черта компактных объектов, отличающая их от нормальных звезд, — чрезвычайно малый размер. Компактные объекты имеют намного меньший радиус, чем нормальные звезды сравнимой массы. Этот факт наглядно иллюстрируется табл. 1.1. и рис. 1.1.

Из-за громадного диапазона, в котором может меняться плотность компактных объектов, их изучение требует глубокого физического понимания структуры материи и природы сил, действующих между частицами, в чрезвычайно широкой области изменения параметров. Все четыре типа фундаментальных взаимодействий (сильные и слабые ядерные силы, электромагнетизм и гравитация) играют роль в компактных объектах. Особенно примечательна большая величина гравитационного потенциала на поверхности компактных объектов, которая приводит к тому, что при определении их внутреннего строения существенными оказываются эффекты общей теории относительности. Даже для белых карликов, для которых ньютоновская теория тяготения адекватно описывает равновесное состояние, общая теория относительности оказывается необходимой при изучении вопроса об их устойчивости.

Из-за малой величины радиуса светящиеся белые карлики, которые излучают остатки своей тепловой энергии, характеризуются существенно более высокой эффективной температурой, чем нормальные звезды, хотя при

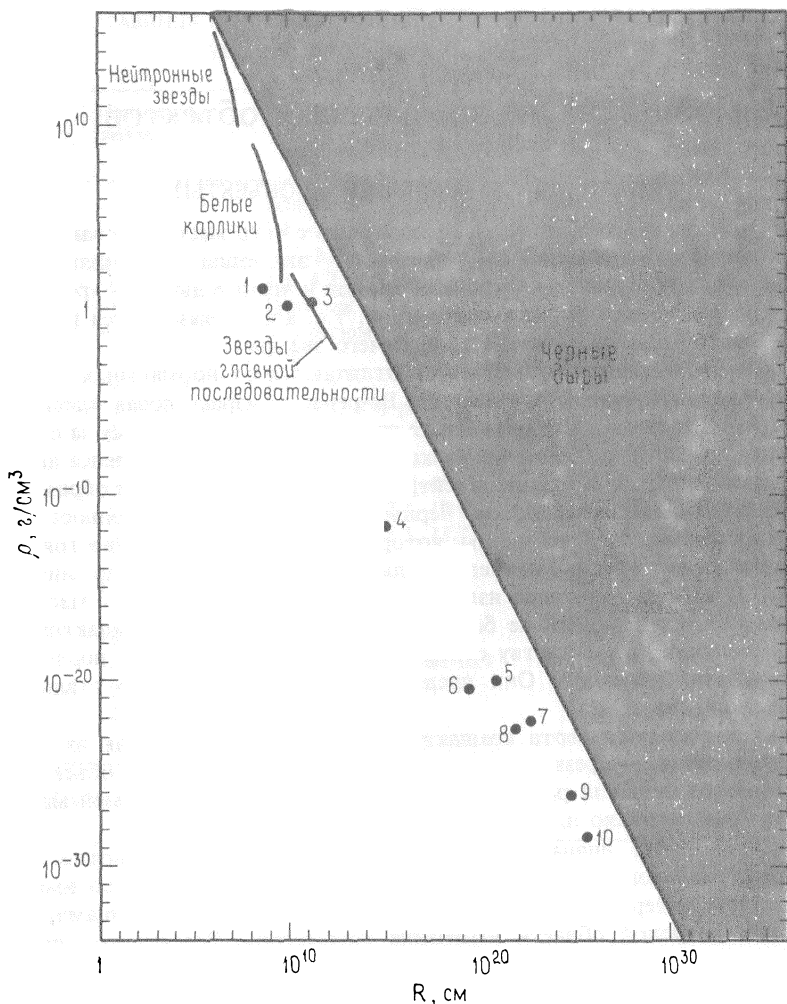


Рис. 1.1. Компактные объекты во Вселенной. Приведены также средние плотности и радиусы других небесных тел. (1 — Земля, 2 — Юпитер, 3 — Солнце, 4 — Солнечная система, 5 — карликовые эллиптические галактики, 6 — шаровые скопления, 7 — гигантские эллиптические галактики, 8 — спиральные галактики, 9 — большие скопления галактик, 10 — Местное сверхскопление.)

этом имеют более низкую светимость. (Напомним, что для черного тела с температурой T и радиусом R поток пропорционален T^4 , так что светимость ведет себя как $R^2 T^4$.) Другими словами, белые карлики намного «белее» нормальных звезд-карликов, с чем и связано их название.

Таблица 1.1

ХАРАКТЕРНЫЕ ЧЕРТЫ КОМПАКТНЫХ ОБЪЕКТОВ

Объект	Масса, M	Радиус, R	Средняя плотность, г/см^3	Поверхностный потенциал, GM/Rc^2
Солнце ¹⁾	M_{\odot}	R_{\odot}	1	10^{-6}
Белый карлик	$\leq M_{\odot}$	$\sim 10^{-2} R_{\odot}$	$\leq 10^7$	$\sim 10^{-4}$
Нейтронная звезда	$\sim (1 \div 3) M_{\odot}$	$\sim 10^{-5} R_{\odot}$	$\leq 10^{15}$	$\sim 10^{-1}$
Черная дыра	Произвольна	$2GM/c^2$	$\sim M/R^3$	~ 1

¹⁾ $M_{\odot} = 1,989 \cdot 10^{33}$ г, $R_{\odot} = 6,9599 \cdot 10^{10}$ см.

Черную дыру вообще никакой свет (и ничто другое) покинуть не может. Поэтому изолированная черная дыра будет выглядеть «черной» для любого наблюдателя. (Это утверждение нуждается в некоторых оговорках, если принимать во внимание квантовомеханические эффекты, которые мы обсудим в гл. 12.)

Нейтронные звезды получили свое название из-за того что они состоят в основном из нейтронов, образовавшихся вследствие взаимного уничтожения электронов и протонов в процессе обратного бета-распада. Так как плотность нейтронных звезд сравнима с ядерной, то фактически они представляют собой «гигантские ядра» (10^{57} барионов), удерживаемые собственным тяготением.

Белые карлики можно наблюдать непосредственно в оптические телескопы в течение длительного периода их охлаждения. Нейтронные звезды можно наблюдать как импульсные радиоисточники (пульсары) и косвенно как периодические источники рентгеновского излучения, возникающего в результате аккреции газа на нейтронную звезду (рентгеновские пульсары). Черные дыры можно наблюдать только косвенно, благодаря тому влиянию, которое они оказывают на свое окружение. Например, в некоторых условиях они могут проявлять себя как аperiодические источники рентгеновского излучения, возникающего вследствие аккреции газа. В последующих главах мы обсудим как эти, так и другие наблюдаемые явления, связанные с компактными звездами.

1.2. ОБРАЗОВАНИЕ КОМПАКТНЫХ ОБЪЕКТОВ

Компактные объекты представляют собой конечные продукты звездной эволюции. Считается, что основным фактором, определяющим, закончит ли звезда свою жизнь как белый карлик, нейтронная звезда или черная дыра, является ее масса.