

Глава 6. Происхождение Вселенной

6.1 Хронология Вселенной

Современные экспериментальные данные говорят нам, что наша Вселенная расширяется. Великий физик Стивен Хокинг показал, что для любой модели Вселенной экстраполяция ее состояния приводит к начальной сингулярности. *Сингулярность* – это математический термин, означающий точку, в которой функция стремится к бесконечности. В данном случае, при времени, стремящемся к нулю, плотность и температура вещества Вселенной стремятся к бесконечности. Момент времени соответствующий сингулярности можно считать временем рождения Вселенной. Сразу после рождения наступает так называемая *планковская эпоха*. В эту эпоху известные нам физические законы не работают. Далее Вселенная начинает расширяться и, в итоге, приходит к текущему состоянию.

Можно выделить пять этапов расширения (см. рис. 5.1):

- 1) Планковская эпоха.
- 2) Инфляционная стадия. Резкое увеличение размеров Вселенной и сильный нагрев.
- 3) Стадия доминирования излучения. Основная стадия ранней Вселенной.
- 4) Эпоха доминирования вещества. Электромагнитное излучение отделяется от вещества. Возникают звезды и галактики.
- 5) Эпоха доминирования темной энергии. Текущая эпоха. Характеризуется ускоренным расширением.

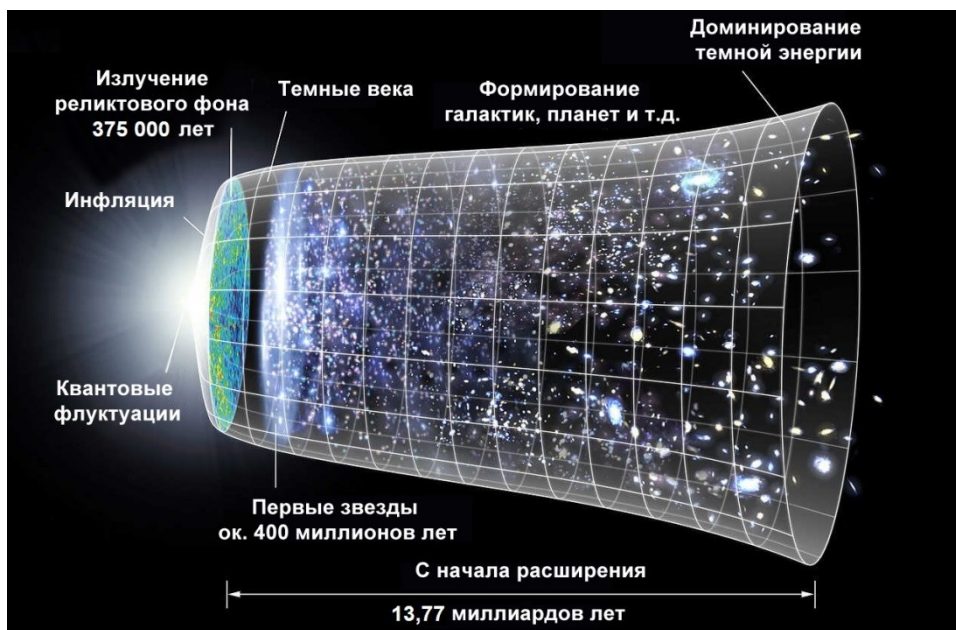


Рис. 5.1 Этапы расширения Вселенной (https://ru.wikipedia.org/wiki/История_вселенной)

Основные стадии развития Вселенной приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1

Эпоха	Время	Температура	Описание
Планковская	$<10^{-43}$ с	10^{32} К	Нет адекватной теории. Предположительное доминирование квантовой гравитации
Великого объединения	$<10^{-36}$ с	10^{29} К	Гравитация выделяется как отдельное взаимодействие. Три прочих – едины
Инфляция	$<10^{-32}$ с	$10^{28} - 10^{22}$	Сильное расширение (в 10^{26} раз) и охлаждение.
Электрослабая эпоха			Отделение сильного взаимодействия от электрослабого
Кварковая	$10^{-12} - 10^{-6}$ с	$>10^{12}$ К	Все 4 взаимодействия разделяются. Материя существует в виде кварк-глюонной плазмы.
Адронная	$10^{-6} - 1$ с	$>10^{10}$ К	Кварки собираются в адроны. Вследствие спонтанного нарушения закона сохранения барионного заряда возникает избыток барионов
Отделение нейтрино	1 с	10^{10} К	Нейтрино перестают взаимодействовать с барионами
Лептонная	1 – 10 с	$10^{10} - 10^9$ К	Лептоны и антилептоны находятся в термодинамическом равновесии
(Первичный) нуклеосинтез	$10 - 10^3$ с	$10^9 - 10^7$ К	Прототы и нейтроны формируют первичные ядра ${}^1_1\text{H}$, ${}^2_1\text{H}$, ${}^3_1\text{H}$, ${}^4_2\text{He}$, ${}^7_3\text{Li}$
Протонная	$10 - 1,2 \cdot 10^{13}$ с (380 тыс. лет)	$10^9 - 4000$ К	Вселенная состоит из ядер, электронов и фотонов. Температура слишком высока для существования атомов
Рекомбинация	380 тыс. лет	4000 К	Формирование нейтральных атомов. Вселенная постепенно становится прозрачной для света. Электромагнитное излучение начинает распространяться свободно. Возникает реликтовое излучение
Темные века	380 тыс. – 150 млн (1 млрд) лет	4000 – 60 К	Вселенная продолжает расширяться, и длина волны реликтового излучения смещается из видимого в инфракрасный диапазон. Во Вселенной пропадает видимый свет
Формирование звезд и галактик	>380 тыс. лет	<60 К	≈ 380 тыс. лет – первые, 1-10 млрд. лет – современные
Реионизация	250 млн. – 1 млрд. лет	60-19 К	Образование наиболее дальних астрономических объектов
Настоящее время	13,8 млрд. лет	2,7 К	Вселенная представляет собой сферу радиусом 46 млрд. св.лет

6.2 Темная материя

До недавних времен считалось, что основная масса нашей Вселенной – это звезды, планеты и облака межзвездного газа и пыли – т.е. видимая (излучающая или поглощающая электромагнитные волны) барионная материя. Однако изучение законов движения звезд и галактик привело к мысли, что существует некая скрытая, ненаблюдаемая материя, которая заметно влияет на эти законы. Ее назвали *темной материей*. Она взаимодействует с обычным веществом только посредством гравитации.

Это проявляется, например, в следующем. Рассмотрим вращение звезд вокруг центра галактики. Так как основная масса видимого (излучающего свет) вещества (т.е. звезд) сосредоточена ближе к центру, то по аналогии с Солнечной системой, скорость вращения v должна убывать с ростом расстояния r от центра (кривая А на рис. 5.2). Этому не наблюдается. Начиная с определенного значения r , скорость v практически перестает зависеть от расстояния r (кривая В рис. 5.2). Такую зависимость $v(r)$ можно объяснить только наличием некой ненаблюдаемой массы, т.е. темной материи.

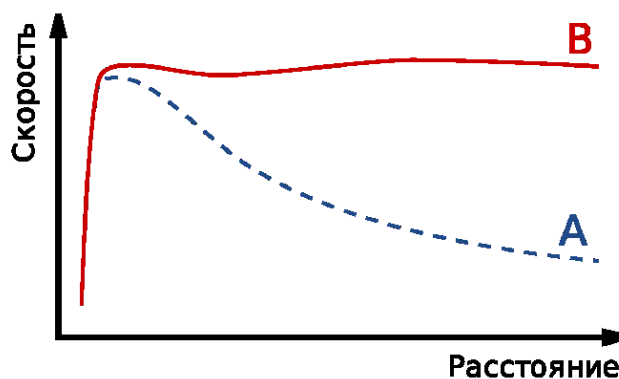


Рис. 5.2 Скорость вращения звезды в зависимости от расстояния от центра галактики (https://ru.wikipedia.org/wiki/Темная_материя)

Всего темной материи примерно в 5 раз больше обычной. Что это такое пока не понятно. Существует несколько кандидатов на роль частиц темной материи (например ВИМПы, аксионы) но экспериментального подтверждения на данный момент нет.

6.3 Темная энергия

Другим проявлением скрытой массы являются закономерности расширения Вселенной. В 1929 г Хаббл измерил красное смещение спектральных линий 18 галактик и сделал вывод о расширении вселенной. Оказалось, что скорость v , с которой галактика удаляется от нас зависит только от расстояния S до нее и эта зависимость близка к линейной (см. рис. 5.3):

$$v = H_0 S, \quad (1)$$

где $H_0 = 68 \text{ км}/(\text{с} \cdot \text{Мпк})$ – постоянная Хаббла (современное значение). Эту зависимость называют законом Хаббла.

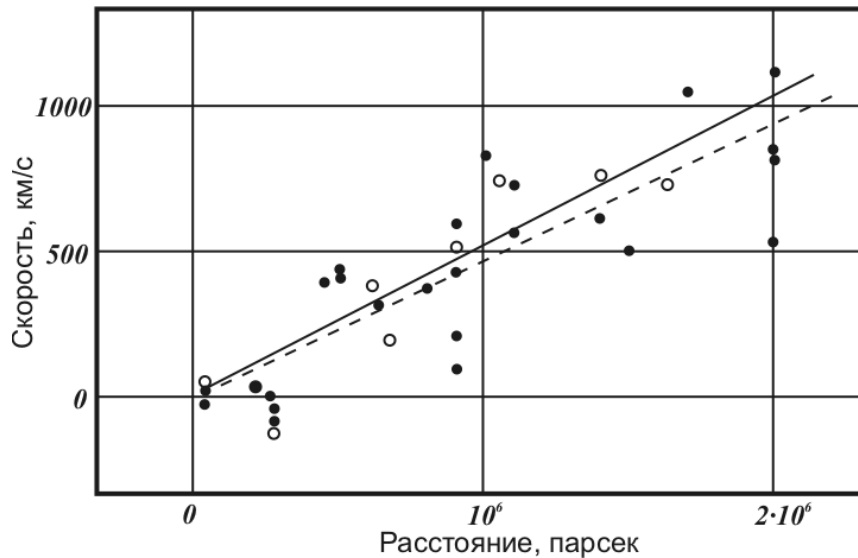


Рис. 5.3 Скорость удаления галактики в зависимости от расстояния до нее. Оригинальный график из статьи Хаббла. (https://ru.wikipedia.org/wiki/Закон_Хаббла)

Дальнейшие исследования показали, что постоянная Хаббла зависит от времени, и расширение Вселенной ускоряется. Для объяснения этого вводят гипотетическую *темную энергию*. Она распространена по пространству более или менее равномерно и обеспечивает видимое отсутствие кривизны Вселенной с одной стороны и расширение с другой. По современным данным, энергия Вселенной делится в следующей пропорции:

- 68,3% темной энергии
- 26,8% темной материи
- 4,9% обычной материи (включая атомы, нейтрино и электромагнитное излучение)

Как и в случае с темной материей, удовлетворительно теоретического и экспериментального обоснования темной энергии на данный момент нет.

6.4 Эволюция звезд

В эволюции звезд большую роль играет конкуренция двух сил:

- гравитационного сжатия
- давления γ -нагретого газа (плазмы), в том числе светового

Обычно звезды образуются из облаков межзвездного газа и пыли. Облако не бывает полностью однородным, и существует область относительно высокой плотности, которая стягивает к себе вещество и становится местом образования (прото)звезды. Под действием гравитации (прото)звезда сжимается и нагревается. При достижении определенной температуры становится возможна одна из *термоядерных реакций* – основного источника энергии звезд. Давление сильно возрастает и сжатие прекращается. Звезда живет на этом этапе до исчерпания соответствующего элемента. Когда топливо данного этапа кончается, давление падает, звезда начинает сжиматься, температура растет и возможна следующая такая итерация. Количество

итераций зависит от исходной массы звезды. Чем масса больше, тем выше температура в центре и более тяжелые элементы можно сжигать. Возможные в звездах термоядерные реакции приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2

Масса звезды в единицах массы Солнца M/M_c	Термоядерная реакция
0,08	нет
0,3	Горение водорода. $4p \rightarrow {}^4_2He$
0,7	Горение водорода и гелия
5,0	Горение водорода, гелия и углерода
25,0	Все реакции с выделением энергии. В итоге образуется элемент с минимальным дефектом массы ${}^{56}Fe$.

После исчерпания водорода звезда обычно расширяется за счет внешней оболочки – образуется (красный) гигант. После окончательного исчерпания всех видов топлива возможны несколько вариантов:

- $M < 0,6 M_c$ Звезды малой массы. Их ожидаемое время жизни больше текущего возраста Вселенной. После окончания топлива они предположительно будут постепенно угасать.
- $0,6 M_c < M < 1,4 M_c$ Звезды среднего размера. Ядро сжимается и превращается в *белый карлик*. Белые карлики состоят из электронно-ядерной плазмы, лишены источников термоядерной энергии и слабо светятся благодаря своей тепловой энергии, постепенно остывая и краснея. Гравитация уравнивается давлением электронного газа (т.е. электромагнитным взаимодействием). Оболочка звезды сильно расширяется и образует *планетарную туманность*.
- $1,4 M_c < M < (2,5 - 3) M_c$ Звезды большого размера. Ядро сильно сжимается и превращается в *нейтронную звезду* (пульсар). Нейтронные звезды состоят из нейтронов, которые образовались при взаимодействии протонов и электронов исходных ядер под действием сильного сжатия. По сути, нейтронная звезда – это гигантское атомное ядро. Сила гравитации уравниваются сильным взаимодействием.
- $(2,5 - 3) M_c$ – предел
Оппенгеймера-Волкова

$$M > (2,5 - 3) M_c$$

Ядро сильно сжимается и коллапсирует в *черную дыру*. Черные дыры — это области пространства-времени, гравитационное притяжение которых настолько велико, что покинуть её не могут даже объекты, движущиеся со скоростью света. Гравитация уже не уравнивается ничем.

В обоих последних случаях внешняя оболочка звезды срывается ударной волной. Происходит катастрофический взрыв сверхновой.