

3. Как оценивают массы галактик?
4. На каком расстоянии находится галактика, если скорость ее удаления равна 20 000 км/с?
5. Сколько времени придется ждать ответа на радиотелеграмму, отправленную к галактике Андромеды, расстояние до которой 0,69 Мпк?
6. Каково расстояние до галактики, если в ней обнаружена новая звезда, видимая звездная величина которой 18^m , а абсолютная звездная величина -7^m ?
7. Определите линейный диаметр галактики типа E0, если ее угловой диаметр равен $\rho = 1'40''$, а линия H α ($\lambda_0 = 656,3$ нм) в ее спектре имеет длину волны $\lambda = 667,8$ нм.

§ 30. Расширяющаяся Вселенная

1. Пространственное распределение галактик. Галактики, как и звезды, образуют группы и скопления. Известно около 7000 скоплений галактик. Около 50 ближайших галактик, из которых наиболее массивные — наша Галактика и туманность Андромеды, образуют систему галактик размерами в несколько сотен килопарсеков, которая получила название **Местной группы галактик**.

Более крупные системы галактик группируются в **скопления галактик**. Они содержат до тысячи галактик, и их размер составляет несколько мегапарсеков. Ближайшее скопление галактик размером примерно 5 Мпк находится в направлении созвездия Девы на расстоянии около 20 Мпк (рис. 166). В его состав входят гигантские эллиптические и спиральные галактики, например радиогалактика Дева А, спиральная галактика «Сомбреро» (рис. 167) и др.

Самое удаленное скопление галактик, до которого определено расстояние (5200 Мпк), располагается в созвездии Волосы Вероники. Только с помощью самых крупных телескопов можно различить его ярчайшие галактики.

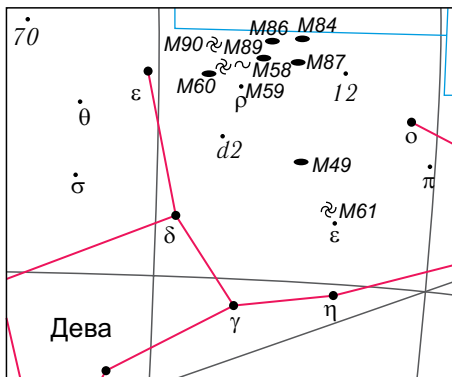


Рис. 166. Скопление галактик в созвездии Девы



Рис. 167. Галактика «Сомбреро»

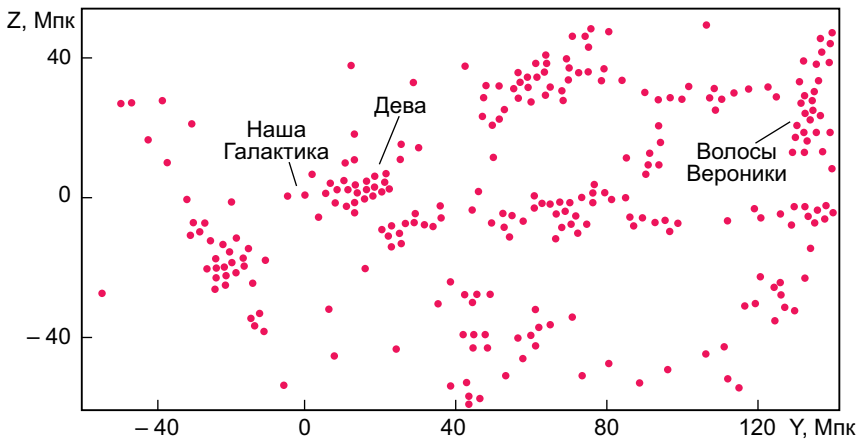


Рис. 168. Ячеистое распределение галактик в пространстве (в разрезе, проходящем через скопление в созвездии Волосы Вероники)

Комплексы скоплений галактик размерами 30—60 Мпк, содержащих десятки скоплений, называются **сверхскоплениями галактик**. Скопление галактик в созвездии Девы является центральным сгущением в сверхскоплении галактик, в которое входит и наша Местная группа галактик. Общее число галактик нашего сверхскопления, исключая карликовые, — около 2000, а размер — около 60 Мпк. Пока выявлено около 50 сверхскоплений. Скоплений более высокого ранга не обнаружено.

Сверхскопления и скопления галактик образуют в пространстве волокноподобные структуры, напоминающие собой ячейки или пчелиные соты (рис. 168). В «волоках» собраны скопления галактик, на пересечении «сот» — сверхскопления галактик. Размеры пустот «ячеек» составляют около 100—150 Мпк, толщина «волокон» — около 10 Мпк. Средняя плотность вещества в «волоках» — порядка 10^{-24} кг/м³. Крупномасштабная структура Вселенной имеет ячеисто-сотый вид. Средняя плотность светящегося вещества в масштабах больше 300 Мпк равна $3 \cdot 10^{-27}$ кг/м³. Это и есть среднее значение плотности светящегося вещества в наблюдаемой части Вселенной, т. е. в больших масштабах Вселенная в среднем однородна.

2. Расширение Вселенной. Совокупность наблюдаемых галактик всех типов и их скоплений, межгалактической среды образует Вселенную.

Одно из важнейших свойств Вселенной — ее постоянное расширение, «разлет» скоплений галактик, о чем свидетельствует красное смещение в спектрах галактик. Вселенная находится в состоянии приблизительно однородного и изотропного расширения. Однородность означает одинаковость всех свойств мате-

рии всюду в пространстве, а изотропия — одинаковость этих свойств в любом направлении. Однородность свидетельствует об отсутствии выделенных областей пространства, а изотропия — об отсутствии выделенного направления. Предположение об однородности и изотропии Вселенной называют **космологическим принципом**.

Гипотезу о расширении Вселенной на основе общей теории тяготения А. Эйнштейна и строгих расчетов выдвинул в 1922 г. русский ученый А. А. Фридман. Расчеты показали, что Вселенная не может быть стационарной; в зависимости от средней плотности вещества во Вселенной она должна либо расширяться, либо сжиматься. Нестационарная модель Вселенной утвердилась в науке лишь после того, как Э. Хаббл обнаружил разбегание галактик (см. закон Хаббла в § 29).

Из расчетов Фридмана вытекают три возможных следствия: Вселенная и ее пространство расширяются с течением времени; Вселенная через определенное время начнет сжиматься; во Вселенной чередуются через большие промежутки времени циклы сжатия и расширения. Возникает вопрос: какой из трех вариантов реализуется в нашей Вселенной? Ответить на него предстоит наблюдательной астрономии, которая должна оценить современную среднюю плотность вещества во Вселенной и уточнить значение постоянной Хаббла. Почему важно уточнение этих двух постоянных величин?

При создании модели расширяющейся Вселенной было показано, что существует некоторое значение критической плотности $\rho_{\text{кр}}$ Вселенной, определяемое по формуле

$$\rho_{\text{кр}} = \frac{3H^2}{8\pi G},$$

где G — гравитационная постоянная, H — постоянная Хаббла. Расчеты по данной формуле показывают, что $\rho_{\text{кр}} = 10^{-26}$ кг/м³. По современным оценкам, плотность вещества Вселенной близка к критическому значению: она либо немного больше, либо немного меньше (не решен окончательно вопрос об учете «скрытой массы»). Если фактическая средняя плотность вещества во Вселенной больше критической, то в будущем расширение Вселенной должно смениться ее сжатием. Если средняя плотность вещества во Вселенной меньше критической, то расширение продолжится. В конце XX в. в ходе изучения сверхновых звезд типа Ia (об этих звездах см. Атлас) было установлено ускоренное расширение Вселенной.

Постоянная Хаббла позволяет оценить время, в течение которого продолжается процесс расширения Вселенной. Определено, что оно не меньше 10 млрд и не больше 19 млрд лет. Наиболее вероятное значение среднего возраста

Вселенной — около 15 млрд лет. Эта величина не противоречит оценкам возраста наиболее старых звезд.

3. Модель горячей Вселенной. В основе современной астрономической картины мира об эволюции Вселенной лежит **модель горячей Вселенной**. В соответствии с ней на ранних стадиях расширения Вселенная характеризовалась не только высокой плотностью вещества, но и его высокой температурой. Гипотезу «горячей Вселенной» выдвинули Жорж Леметр и Г. А. Гамов. Она получила название Большого взрыва.

Согласно этой теории, предполагается, что Вселенная возникла в результате взрыва из состояния с очень высокой плотностью материи, обладающей огромной энергией. Это начальное состояние материи называется **сингулярностью** — точечный объем с бесконечной плотностью. Расширение Вселенной нельзя рассматривать как разлет материи в окружающую пустоту, ибо окружающей пустоты не было. Вселенная — это все существующее. Ее вещество с самого начала однородно заполняло все безграничное пространство. И хотя давление было огромным, оно не создавало расширяющей силы, так как везде было одинаковым. Причины начала расширения Вселенной до конца не известны. По мере ее расширения температура падала от очень высокой до очень низкой, что и обеспечило благоприятные условия для образования звезд и галактик.

На основании моделей Фридмана была разработана поэтапная физическая картина эволюции вещества начиная с момента взрыва (рис. 169). Чуть более 3 минут спустя формирование ранней Вселенной закончилось и начался процесс соединения протонов и нейтронов в составные ядра. Затем почти 500 тыс. лет шло медленное остывание. Когда температура Вселенной упала примерно до 3 тыс. градусов, ядра водорода и гелия уже могли захватывать свободные электроны и превращаться в нейтральные атомы. Через миллион лет после начала расширения наступила эра вещества, когда из горячей водородно-гелиевой плазмы с малой примесью других ядер стало развиваться многообразие нынешнего мира.

Неоднородности во Вселенной, из которых впоследствии возникли все структурные образования, зародились в виде ничтожных случайных отклонений (флуктуаций), а затем усилились в эпоху, когда ионизированный газ во Вселенной стал превращаться в нейтральный, т. е. когда излучение «оторвалось» от вещества.

После того как вещество стало прозрачно для электромагнитного излучения, в действие вступили гравитационные силы. Они стали преобладать над всеми другими взаимодействиями между массами практически нейтрального вещества, составлявшего основную часть материи Вселенной. Гравитационные силы создали галактики, звезды и планеты.

Какова судьба Вселенной? Существуют две теоретические модели будущего Вселенной — закрытая и открытая.

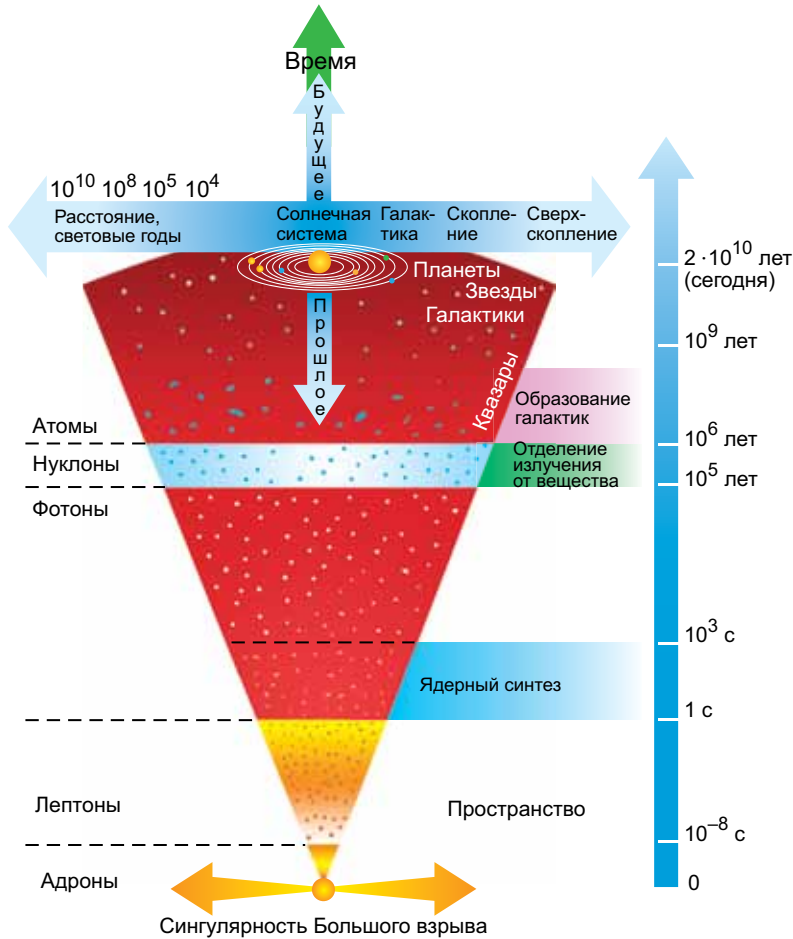


Рис. 169. Схема развития Вселенной от Большого взрыва до настоящего времени



Закрытая модель предполагает, что Вселенная может быть представлена как грандиозная закрытая система, испытывающая множество эволюционных циклов. Цикл расширения сменяется циклом сжатия до возвращения в сингулярное состояние, затем новый взрыв и т. д. Полный цикл расширения и сжатия Вселенной составляет примерно 100 млрд лет. Каждый раз, возвращаясь к сингулярности, Вселенная теряет «память» о прошлом состоянии и может снова «родиться» с совершенно новым набором физических констант.

В **открытых** моделях Вселенной рассматриваются разные варианты ее «тепловой смерти». Предполагается, что уже через 10^{14} лет многие звезды остынут,

и это в последующем приведет к отрыву планет от своих звезд, а те в свою очередь начнут покидать галактики. Затем центральные части галактик коллапсируют, образуя черные дыры, и тем самым прекратят свое существование.

! Главные выводы

1. В охваченной астрономическими наблюдениями части Вселенной существуют миллиарды галактик. В пространстве галактики распределены неравномерно, образуя группы, скопления и сверхскопления галактик.
2. Основное свойство Вселенной — ее расширение.
3. На современном этапе развития науки рассматривается модель эволюционной Вселенной, которая со временем изменяет свою структуру и свойства.

? Контрольные вопросы и задания

1. Опишите пространственное распределение галактик во Вселенной.
2. Как объясняется красное смещение и о чем оно свидетельствует?
3. В чем состоит сущность теории расширяющейся Вселенной?
4. К каким выводам о стационарности Вселенной пришел А. А. Фридман?
5. Что такое критическая плотность Вселенной? В какой взаимосвязи критическая плотность находится с расширением или сжатием Вселенной?
6. Опишите модель горячей Вселенной.
7. Что понимается под закрытой и открытой моделями Вселенной?

§ 31. Жизнь и разум во Вселенной

1. Антропный принцип и проблемы существования разумных цивилизаций. Сущность антропного принципа заключается в том, что появление жизни, разума является неотъемлемой частью Вселенной, естественным следствием ее эволюции. Наша Вселенная удивительно приспособлена к возникновению и развитию в ней жизни. Так, из бесконечного разнообразия начальных условий и значений физических постоянных, которые, вероятно, возникали в ранней Вселенной, реализовались только пригодные для существования разумной жизни.

Приведем несколько примеров.

1. Мы живем в пространстве трех измерений. Но только в таком пространстве возможны устойчивые планетные движения (гравитационное взаимодействие).