

## 17. Структура, происхождение и эволюция Вселенной

### 17.1. Крупномасштабная структура Вселенной

Галактики, подобно звездам, наблюдаются группами. Например, нашу Галактику, Магеллановы Облака и еще около 20 небольших спутников нашей Галактики можно рассматривать как кратную систему. Кратной оказалась и Туманность Андромеды, окруженная несколькими эллиптическими галактиками-спутниками.

Наша Галактика и Туманность Андромеды входят в Местную группу (систему) галактик, размеры которой достигают сотен тысяч парсек. Местная группа представляет собой сравнительно небольшую систему, так как существуют скопления, содержащие сотни и тысячи галактик.

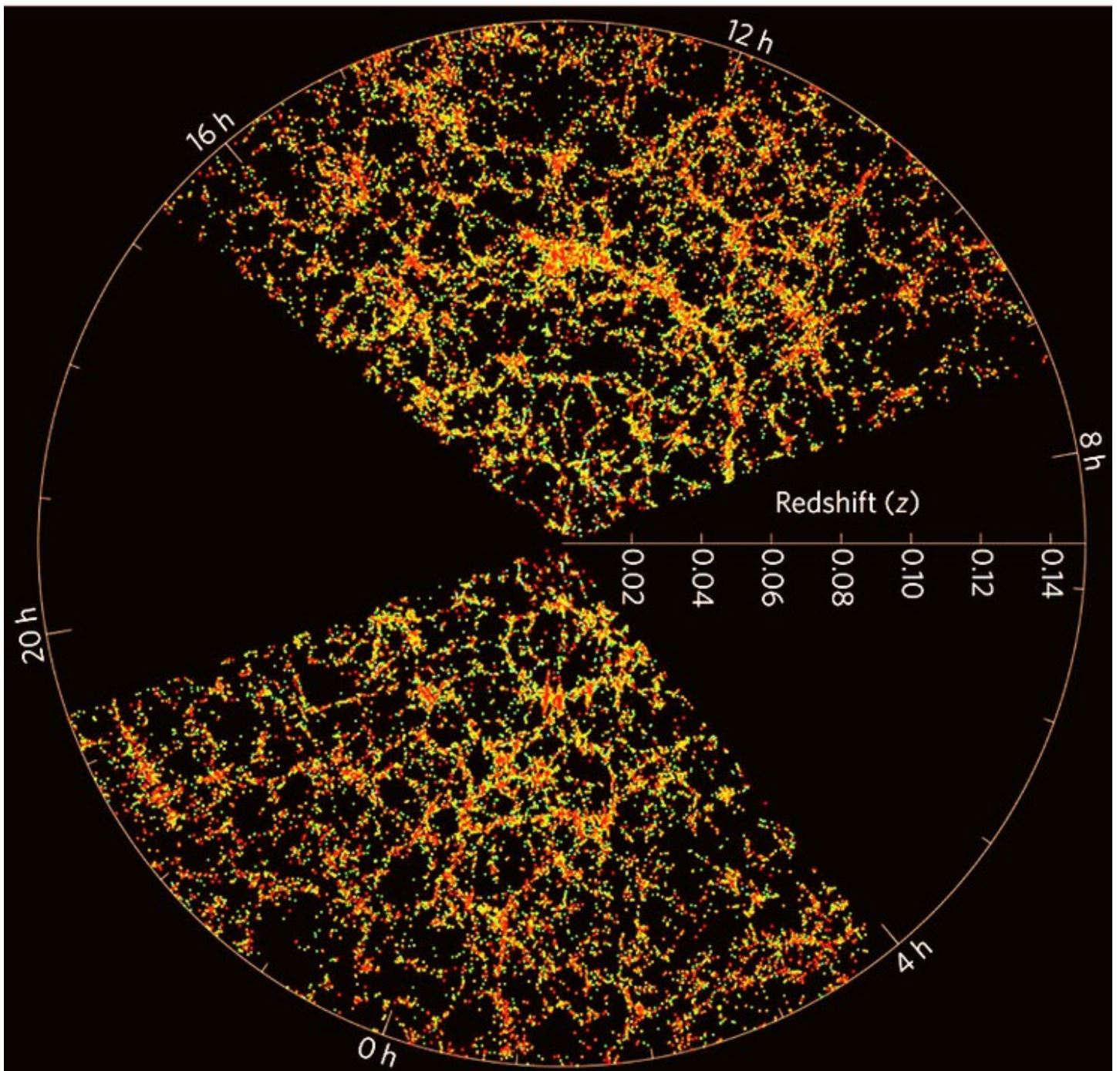
Ближайшее к нам скопление галактик находится в созвездии Девы и насчитывает сотни крупных галактик. Расстояние до него порядка 20 Мпк (Мегапарсек), это система диаметром более 6 Мпк. Крупные скопления галактик находятся в созвездиях Волосы Вероники, Северная Корона, Геркулес и др. (см. фото).



Не входят ли скопления в состав еще больших систем?

Данные внегалактической астрономии указывают на то, что, возможно, существует Местное сверхскопление галактик, насчитывающее примерно 10 тыс. галактик и имеющее диаметр около 50 Мпк. В его центре расположено скопление галактик в созвездии Девы. Открыто несколько десятков других сверхскоплений (два ближайших находятся от нас на расстоянии 100 Мпк). Таким образом, Вселенной на самых разных уровнях присуща структурность: от ядер атомов до гигантских сверхскоплений галактик.

В конце 70-х гг. XX в. астрономы обнаружили, что галактики в сверхскоплениях распределены не равномерно, а сосредоточены вблизи границ ячеек, внутри которых галактик почти нет. Теоретики предвидели возможность такого распределения галактик, а потому открытие не было неожиданным. Следовательно, согласно современным представлениям, для Вселенной характерна ячеистая (иногда говорят сетчатая, или пористая) структура, которую можно видеть на специально обработанных фотографиях участков звездного неба. Она напоминает «паутинную сетку» (см. рис.).



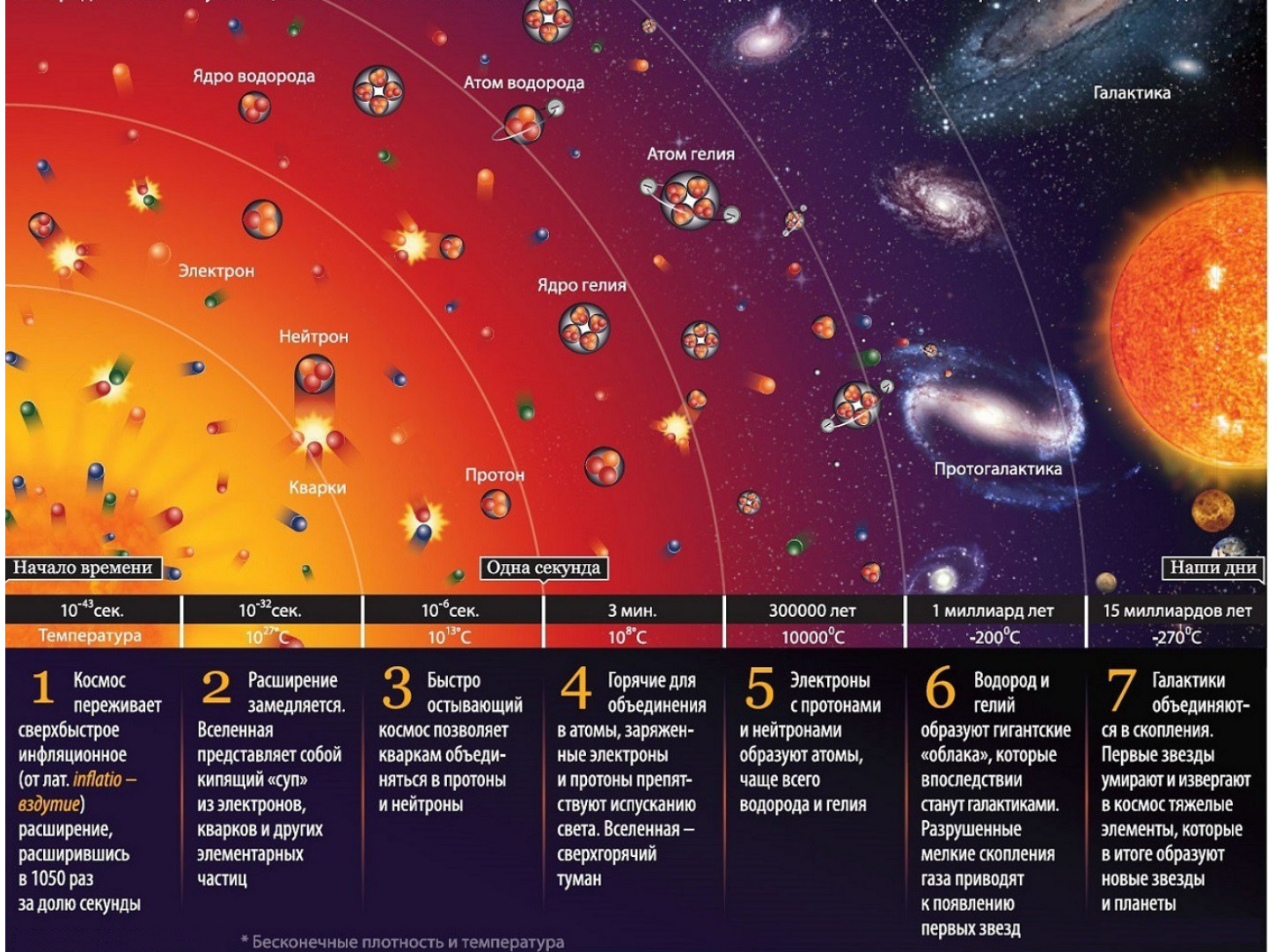
В свете этих открытий пространственной моделью структуры Вселенной может служить кусок пемзы. В целом она однородна, хотя в небольших выделенных объемах пемза неоднородна (в ней есть вещество и пузырьки воздуха). Так и во Вселенной: в небольших масштабах, например в масштабах Солнечной системы или Галактики, вещество распределено явно неравномерно, но в масштабах сверхскоплений галактик вещество распределено практически равномерно. Итак, в крупномасштабной структуре Вселенной не существует каких-либо особых, чем-то выделяющихся мест или направлений, поэтому в больших масштабах Вселенную можно считать не только однородной, но и изотропной.

## 17.2. Возникновение Вселенной

Согласно современным взглядам вначале Вселенная была точкой, т. е. вся материя Вселенной была сконцентрирована внутри ничтожно малого объема бесконечно большой температуры и давления. До момента начала расширения или Большого Взрыва не было ничего, ни времени, ни пространства, ни вещества. История Вселенной начинается с  $10^{-43}$  с после момента «ноль» – момента взрыва чудовищной силы, который является датой рождения Вселенной (см. рис).



Большой взрыв – гипотетическое начало расширения Вселенной, перед которым Вселенная находилась в сингулярном состоянии.\* По представлениям ученых, Вселенная в ее нынешнем виде возникла 13,7 млрд лет назад и продолжает расширяться и охлаждаться



В момент возникновения радиус Вселенной составлял  $10^{-35}$  м, плотность  $10^{101}$  кг/м<sup>3</sup> и температура  $10^{30}$  К. Естественно, что при таких условиях ничего похожего на наш мир не было. В частности, элементарные частицы в это время не имели массы. Материя в момент возникновения Вселенной была в состоянии физического вакуума. В отличие от обычной материи (состоящей из элементарных частиц) в физическом вакууме имеются гравитационные силы отталкивания.

Сразу же после возникновения Вселенная под действием этих сил начинает расширяться. Причем это расширение происходит с огромной скоростью: уже к моменту  $t=10^{-35}$  с после начала размеры Вселенной увеличиваются примерно в  $10^{3000000000}$  раз (это невероятное число означает единицу с тремястами миллионами нулей) (см. рис.). Такая скорость расширения не противоречит принципу максимальной скорости света, поскольку эта скорость относится к расширению пространства, а не к движению в пространстве «реальных» частиц.



Плотность материи во Вселенной не изменяется, температура падает и тогда, когда достигает некоторого предела; вакуум распадается, в нем возникают элементарные частицы и античастицы. Это начало формирования той Вселенной, в которой мы живем.

### **17.3. Эволюция стандартной Вселенной**

В период времени от  $10^{-35}$  до  $10^{-8}$  с важных событий не происходит, а к моменту времени  $10^{-8}$  сплавляются протоны и антипротоны. Плотность вещества к этому моменту падает до  $10^{-8}$  кг/м<sup>3</sup>, а температура – до  $10^{13}$  К. К моменту времени  $10^{-6}$  с температура падает до  $10^{10}$  К, и в процессе столкновений уже не могут возникать частицы и античастицы. В дальнейшем в реакциях аннигиляции исчезают все античастицы. При этом оказывается, что частиц было несколько больше. На 1 000 000 000 античастиц (антипротонов и позитронов) приходилось 1 000 000 001 частица (протонов и электронов).

В результате сейчас наш мир состоит из протонов и электронов, а не из антипротонов и позитронов. Причина таится в особенностях процессов, происходивших в период времени до  $10^{-35}$  с.

Примерно в течение времени от 1 до 300 с происходят ядерные реакции слияния протонов и нейтронов, в результате чего образуются дейтерий, гелий и литий. Количество образовавшихся дейтерия и гелия зависит от плотности вещества в момент их образования, а значит, и от средней плотности вещества в настоящий момент. Расчет показывает, что доля гелия по весу должна составлять от 25 до 30%. Это хорошо согласуется с современными значениями. Более тяжелые элементы образовались в звездах.

### **17.4. Возникновение реликтового излучения**

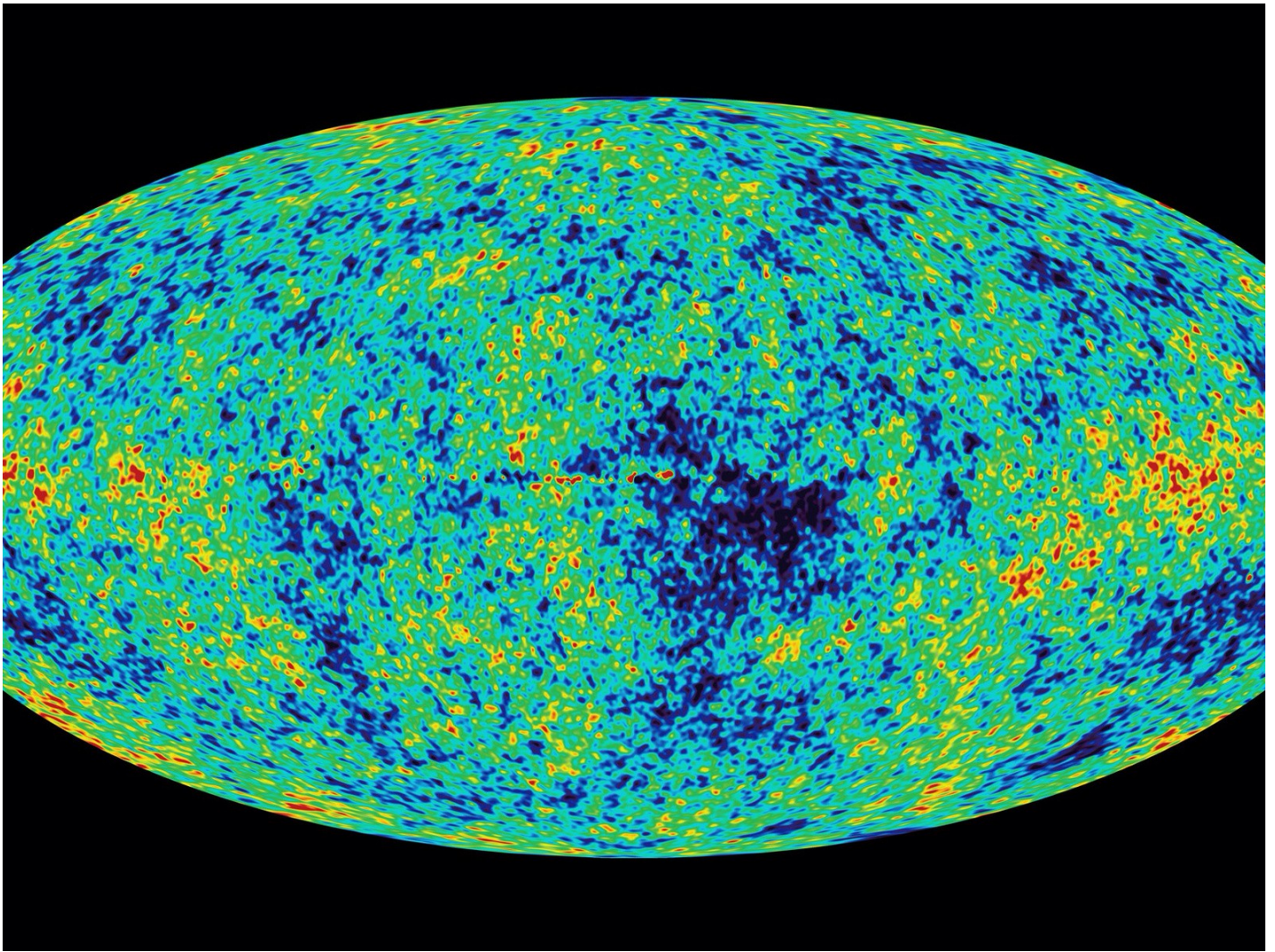
В следующий миллион лет продолжается расширение Вселенной, сопровождающееся постепенным уменьшением температуры. Первое время температура достаточно высока, чтобы газ оставался ионизованным (плазмой) (см. рис.). Но ионизованный газ сильно взаимодействует с излучением, и их температуры остаются равными. Но как только температура во Вселенной падает до 4000 К, а это происходит примерно через миллион лет после начала расширения, начинается рекомбинация атомов и излучение «отрывается» от вещества. С этого момента излучение и вещество ведут себя по-разному.





Излучение, возникшее в тот момент, когда температура понизилась до 4000 К (его назвали реликтовым излучением), приходит к нам в настоящее время из областей, удаленных на многие миллиарды световых лет. Это излучение было открыто в 1965 г. Как и ожидалось, оно приходит к нам со всех направлений с почти одинаковой интенсивностью, т. е. вещество в момент отрыва излучения было действительно в высокой степени однородно. На рисунке представлена карта реликтового излучения на небесной сфере. Вариации интенсивности (яркости) реликтового излучения по небу не превышают одной сотой доли процента, но их наличие указывает на едва заметные неоднородности в распределении вещества, которые существовали на ранней стадии эволюции Вселенной и послужили зародышами галактик и их скоплений.





Таким образом, теория образования Вселенной подтверждается двумя проверяемыми следствиями: реликтовым излучением и современным химическим составом.

### 17.5. Возникновение галактик

Рекомбинация водорода и гелия приводит к тому, что излучение и вещество практически перестают взаимодействовать, давление света исчезает и равновесие вещества определяется в дальнейшем только газовым давлением. Поскольку это давление невелико, оно уже неспособно противодействовать гравитации. Вещество фрагментирует на объекты массой примерно  $10^{15}M_{\odot}$ , что соответствует массе скопления галактик.

Галактика образуется как огромный газовый шар, диаметр которого лишь незначительно превышает диаметр будущей галактики. Движения газа в нем хаотические, т. е. облака газа заполняют весь объем шара, двигаясь главным образом в радиальных направлениях. Весь шар вращается как целое. Сразу после возникновения протогалактики в ней начинается бурный процесс звездообразования, причем в основном образуются звезды большой массы. Быстро эволюционируя, они взрываются как сверхновые и обогащают межзвездную среду тяжелыми элементами.

На протяжении всего времени эволюции в галактике идет процесс обогащения межзвездного газа элементами тяжелее гелия. Различия химического состава, точнее доля тяжелых элементов, позволяют определить последовательность появления различных групп звезд (населений) в галактике.

Сравнительно недавно с помощью космического телескопа Хаббла были получены фотографии «глубокого космоса» - областей, удаленных от нас на 10 - 12 млрд. св. лет. Мы видим эти области такими, какими они были в период формирования галактик. Поражает обилие небольших объектов. В то время расстояния между галактиками были примерно в 2 раза меньше, чем сейчас. Но наблюдаемые объекты намного меньше, чем теперешние галактики. Пока остается непонятным, что мы видим: области бурного образования звезд в одной галактике или небольшие вновь образовавшиеся галактики, которые затем сольются в отдельные гигантские звездные системы.

### 17.6. Эволюция галактик

Итак, на первой стадии существования галактики в ней образуются первые звезды и газовые облака. Дальнейшая «судьба» галактики зависит от ее массы и вращения. Галактика малой массы, как правило, не формирует ясно видимой структуры. Процесс звездообразования в ней сильно затянут, о чем свидетельствует большое количество молодых голубых звезд. Образовавшиеся в галактике звезды сохраняют движение тех газовых облаков, в которых они образовались, так как столкновения и близкие сближения звезд очень редки. Поэтому если галактика

изначально вращалась медленно, то звезды сохраняют хаотические движения главным образом в радиальных направлениях. Газовые же облака часто сталкиваются между собой. Их хаотические скорости гасятся, и газ смещается к центру галактики.

Вид галактики, определяемый звездами, будет мало отличаться от шара с сильной концентрацией звезд к центру, т. е. формируется эллиптическая галактика. Концентрирующийся к центру газ не только увеличивает концентрацию звезд к центру (процесс звездообразования не прекращается), но, по-видимому, приводит к образованию сверхмассивной черной дыры в ее центре. Взаимодействие черной дыры и газа, падающего к центру, определяет активность галактики.

В быстровращающейся галактике звезды первого поколения образуют сферическую составляющую. Хотя в такой галактике столкновения газовых облаков происходят не менее часто, чем в медленно вращающейся, газ не может сконцентрироваться к центру, ибо этому мешают центробежные силы. В результате газ будет концентрироваться в галактической плоскости.

Внешние возмущения приведут к тому, что в галактической плоскости возникнут волны плотности. Именно в них идет процесс звездообразования. Возникающие молодые массивные звезды и светящиеся под действием их излучения облака водорода образуют известный рисунок спиральной галактики.

### Вопросы

1. Какие объекты входят в местную группу (систему) галактик?
2. Что представляет собой ближайшее к нам скопление галактик?
3. Единица измерения 1 пк (парсék) – что это?
4. Не входят ли скопления галактик в состав еще больших систем?
5. Как понимать выражение «для Вселенной характерна ячеистая (иногда говорят сетчатая, или пористая) структура»?
6. Опишите 1-ый этап зарождения Вселенной.
7. Опишите 2-ой этап зарождения Вселенной.
8. Опишите 3-ий этап зарождения Вселенной.
9. Опишите 4-ый этап зарождения Вселенной.
10. Когда и какое главное событие произошло на 5-ом этапе развития Вселенной?
11. Когда наступил 6-ой этап развития Вселенной и чем он характерен?
12. Когда настал 7-ой этап развития Вселенной и каковы его особенности?
13. Какую информацию о Вселенной несёт реликтовое излучение?
14. Коротко опишите период возникновения галактик.
15. Каким образом эволюция галактик связана с их массой?