

времени H_0 наз. постоянной Хаббла и, по совр. данным, находится в пределах $H_0 \approx (50-100) \text{ км}/(\text{с} \cdot \text{Мпк}) \approx (1,6-3,2) \cdot 10^{-18} \text{ с}^{-1}$ (точность проверки закона Хаббла $v \sim R$ значительно выше, чем точность определения коэф. пропорциональности H_0). Закон Хаббла относится к нерелятивистскому пределу ($v \ll c$), при $v \sim c$ он видоизменяется таким образом, что скорость удаления не превышает скорости света (доплеровское красное смещение z остается конечным). Наиболее удалённые от нас видимые объекты — *квезары* — обладают значениями красного смещения до $z \approx 4$, что отвечает расстоянию более 5000 Мпк. Поверхность, соответствующая бесконечному z , наз. совр. космологическим горизонтом. Радиус горизонта совпадает с расстоянием, к-рое свет проходит за время расширения В. от *сингулярности космологической*; по порядку величины $R \sim c/H_0$, точное значение R зависит от конкретной космологической модели. Горизонт представляет собой границу наблюдаемой в настоящий момент части В. С течением времени космологич. горизонт расширяется. Постоянная Хаббла H_0 определяет также возраст В. (отсчитанный от космологич. сингулярности) $t_0 \sim H_0^{-1}$. Особую роль в космологии играет т. п. критическая плотность $\rho_c = 3H_0^2/8\pi G$ (от соотношения с ней плотности ρ вещества В. зависит, в частности, судьба В. в будущем). При значениях $H_0 = 50 \text{ км}/(\text{с} \cdot \text{Мпк})$ и $\rho = \rho_c = 4,7 \cdot 10^{-30} \text{ г}/\text{см}^3$ радиус горизонта $R_h = 2c/H_0 \approx 12000 \text{ Мпк} \approx 4 \cdot 10^{28} \text{ см}$, а возраст В. $t_0 = 2/(3H_0) \approx 13$ млрд. лет.

2. Плотность вещества во В. резко падает при переходе от малых масштабов к большим: от громадных значений $\rho \sim 10^{14} \text{ г}/\text{см}^3$ в атомных ядрах (а также в нейтронных звёздах) до $\rho \sim 1 \text{ г}/\text{см}^3$ на планетах и звёздах главной последовательности, $\rho \sim 10^{-24} \text{ г}/\text{см}^3$ в Галактике и $\rho \sim \rho_c$ в размере всей видимой части В. В космологии плотность вещества выражают обычно в долях от ρ_c : $\Omega = \rho/\rho_c$. Оценки кол-ва «свещающегося» вещества (звёзд и газа в галактиках) дают $\Omega \approx 0,01-0,02$. В то же время из результатов измерений «виральной» массы групп и скоплений галактик (т.е. массы, вычисленной по средней относительной скорости галактик с помощью *вирала теоремы*) следует, что $\Omega \approx 0,1-0,3$. Различие между этими числами составляет суть проблемы *скрытой массы* (т.е. тёмного, несвещающегося вещества) во В. Физ. природа скрытой массы ещё не определена. Совр. данные не позволяют исключить существование к.-л. вида материи во В., к-рый не концентрируется вокруг галактик и их скоплений и пространственное распределение к-рого однородно на масштабах ≤ 10 Мпк. Существуют довольно слабые ограничения сверху на величину полной плотности массы-энергии вещества во В., вытекающие из условия, что возраст В. должен быть больше возраста Земли или к.-л. др. объекта во В. (напр., *шарового звёздного скопления*). Ни один из этих пределов не противоречит значению $\Omega = 1$, выделенному в модели раздувающейся В.

3. Химический состав вещества во Вселенной. Видимое вещество во В. состоит в осн. из водорода (80—70% по массе) и гелия ^4He (20—30% соответственно). Остальных хим. элементов значительно меньше; их распространённость согласуется с теоретич. концепцией, согласно к-рой вещество во В. до образования звёзд представляло собой водород и ^4He в указанной пропорции с малой примесью ^2H , ^3He и Li , а все более тяжёлые элементы образовались в звёздах (см. *Нуклеосинтез, Распространённость элементов*). Во В. не обнаружено заметного кол-ва антивещества (за исключением малой доли антипротонов в *космических лучах*; эти антипротоны, по-видимому, возникли в нашей Галактике). Т. о., В. является несимметричной по барионному заряду (вещество преобладает над антивеществом, см. *Барионная асимметрия Вселенной*).

4. Реликтовое излучение (*микроволновое фоновое излучение*). В. заполнена эл.-магн. излучением с чернотельным спектром и темп-рой $T = 2,7 \text{ К}$ (см. *Планка закон излучения*). Его плотность энергии в долях критической $\Omega_\gamma = \epsilon_\gamma/(\rho_c \cdot c^2) \approx 10^{-4}$ при $H_0 = 50 \text{ км}/(\text{с} \cdot \text{Мпк})$. Реликтовое излучение не могло быть произведено звёздами, оно осталось от ранних стадий эволюции В. — отсюда его название. Реликтовое излучение с большой точностью изотропно: его темп-ра не зависит от направления. Наблюдается анизотропия темп-ры реликтового излучения дипольного типа с относит. амплитудой $|\Delta T/T| \sim 10^{-3}$. Её можно полностью приписать движению Солнечной системы со скоростью $v \approx 400 \text{ км}/\text{с}$ относительно космологически выделенной инерциальной системы отсчёта, в к-рой реликтовое излучение в среднем покоится. Наблюдаются также сезонные вариации амплитуды дипольной анизотропии, соответствующие изменению скорости $\pm 30 \text{ км}/\text{с}$, к-рые вызваны вращением Земли вокруг Солнца (это даёт своеобразное новое «космологическое» доказательство правильности гелиоцентрич. системы Коперника). После исключения дипольного компонента анизотропия темп-ры реликтового излучения не обнаруживается на уровне $|\Delta T/T| \approx 3 \cdot 10^{-5}$, соответствующем чувствительности совр. измерений. Совр. теории образования галактик и крупномасштабной структуры Вселенной предсказывают, однако, что неоднородная анизотропия должна существовать на более низком уровне ($\sim 10^{-5}$).

5. Однородность, изотропия и структурированность В. Из изотропии реликтового излучения с точностью выше 10^{-4} вытекает, что В. однородна и изотропна с такой же точностью в масштабе совр. горизонта $\sim 10^4 \cdot h_0^{-1} \text{ Мпк}$, где $h_0 = H_0/[50 \text{ км}/(\text{с} \cdot \text{Мпк})]$. Это подтверждается также малостью отклонений от закона Хаббла для объектов на больших расстояниях и изотропным распределением удалённых радиосточников по небу. В. остаётся однородной и изотропной на расстояниях $(10^4-300) \cdot h_0^{-1} \text{ Мпк}$, но с меньшей точностью. В. обладает заметно выраженной ячеисто-сетчатой структурой в масштабах $\leq 100 h_0^{-1} \text{ Мпк}$. Эта структура состоит из групп и скоплений галактик, образующих вытянутые «нити» — филаменты, к-рые пересекаются между собой и создают связную трёхмерную сетку. В местах пересечения филаментов, как правило, располагаются богатые скопления галактик. Между филаментами находятся дыры — области, в к-рых практически нет нормальных галактик. Ср. размер дыр $\approx 50 h_0^{-1} \text{ Мпк}$, ср. толщина филаментов $\approx 10 h_0^{-1} \text{ Мпк}$. Существование ячеисто-сетчатой структуры удаётся объяснить (пока в качественном виде) в рамках Фридмановской модели В. с *адиабатическими флуктуациями* плотности вещества.

Прошлое Вселенной. Динамика В. как целого определяется гравитац. взаимодействием тел (см. *Тяготение*) и описывается ур-ниями общей теории относительности (ОТО). Это вызвано тем, что гравитац. взаимодействие является единственным, к-рое не экранируется и не насыщается (а наоборот, усиливается) с увеличением кол-ва вещества, в результате чего оно доминирует над др. взаимодействиями в достаточно больших масштабах. Из однородности и изотропии В. в больших масштабах следует, что в этих масштабах она хорошо аппроксимируется моделью Фридмана с малыми возмущениями однородности (см. *Космологические модели*). Оценку степени однородности В. в меньших масштабах можно получить косвенным образом из факта отсутствия значит. кол-ва первичных *чёрных дыр* (если они вообще существуют во В., то ср. плотность их массы должна быть существенно меньше критической). Из этого вытекает, что в недавнем прошлом В. была однородной и изотропной в меньших масштабах. Осп. качественные выводы, следующие из анализа Фридмановской модели В.: а) В. нестационарна (она расширяется), плотности