

лые неоднородности плотности, эволюция к-рых в конце концов приводит к образованию крупномасштабной структуры Вселенной.

Теория рассматривает и др. возможные причины инфляции (помимо особого состояния скалярного поля) в самом начале расширения Вселенной.

Границу применимости самых общих концепций совр. физики в К. представляет плотность  $\rho_{\text{пл}} \sim 10^{93}$  г/см<sup>3</sup> (т. н. планковская плотность), при к-рой должны проявляться ещё не изученные квантовые свойства пространства-времени и тяготения. Существуют гипотезы о рождении Вселенной с планковской плотностью из вакуума.

Модель раздувающейся (инфляционной) Вселенной даёт возможность предположить, что пространственная однородность Вселенной, вызванная экспоненциальным расширением, сглаживающим все неоднородности, простирается на расстояния, намного превышающие размеры охваченной наблюдениями области Вселенной, но всё же на конечные масштабы. На границах этой области однородности, возможно, имеются экзотич. образования, предсказываемые теоретич. физикой, — доменные стенки, магнитные монополи и др., а за границей — др. области Вселенной (иногда их наз. «другими вселенными») с иными свойствами, чем та область, к-рая доступна наблюдениям.

Лит.: Зельдович Я. Б., Новиков И. Д., Стростин и эволюция Вселенной, М., 1975; Вейнберг С., Гравитация и космология, пер. с англ., М., 1975; Пиблс С. Дж. Э., Структура Вселенной в больших масштабах, пер. с англ., М., 1983; Линде А. Д., Раздувающаяся Вселенная, «УФН», 1984, т. 144, с. 177. И. Д. Новиков.

**КОСМОХРОНОЛОГИЯ** (от греч. *kósmos* — мир, Вселенная, *chrónos* — время и *lógos* — слово, учение) — одно из направлений космологии, устанавливающее возраст разл. астр. объектов (планет, Солнца, звёзд, галактик) и Вселенной в целом.

Для определения возраста в К. применяют как методы наземной наблюдательной астрономии, так и методы внеатмосферной астрономии, позволяющие изучать движение космич. объектов и определять их хим. и изотопный состав.

В К. используют также данные геохронологии и о возрасте геологич. образцов, метеоритов и лунного вещества (см. *Изотопная хронология*). Выводы К. основываются на фундам. физ. законах и представлениях космологии об эволюции космич. объектов и Вселенной в целом.

Осн. проблема К. — определение возраста Вселенной  $T_U$ . С открытием *красного смещения* линий в спектрах далёких галактик и развитием представлений о расширяющейся Вселенной удалось получить первую оценку  $T_U$  (за начало отсчёта принимается момент взрывного начала расширения Вселенной, см. *Сингулярность космологическая*). В простейшем приближении связь между расстоянием  $r$  до далёкого внегалактич. объекта в расширяющейся Вселенной и скоростью  $v$  его удаления записывается в виде  $v = H_0 r$  (см. *Хаббла закон*), где коэф.  $H_0 = (50-100)$  (км/с)/Мпк наз. постоянной Хаббла.

Величина  $t = 1/H_0 = T_U$  («время Хаббла») представляет собой время, в течение к-рого произошло расширение видимой части Вселенной — разлёт самых удалённых из наблюдаемых объектов Вселенной (при условии, что расширение происходило равномерно с совр. скоростью). Из данных наблюдений следует, что  $T_U$  заключено в пределах (10—20) млрд. лет. Имеющаяся неопределённость в значении  $T_U$  обусловлена трудностями определения  $H_0$  (гл. обр. большими погрешностями в нахождении расстояний до далёких галактик, их скоплений и квазаров, см. *Расстояний шкала* в астрономии).

Если принять (см. *Космологические модели*), что ранняя Вселенная расширялась с большей скоростью,

то время расширения характеризуется более сложной зависимостью:

$$T_U = \frac{1}{H_0} f(\Omega, \Lambda). \quad (1)$$

Здесь  $\Omega = \rho_0/\rho_c$ , где  $\rho_0 = (3-5) \cdot 10^{-31}$  г/см<sup>3</sup> — ср. плотность материи во Вселенной к настоящему времени (реальное значение  $\rho_0$ , по-видимому, больше за счёт ненаблюдаемой *скрытой массы*),  $\rho_c = 10^{-29} - 5 \cdot 10^{-30}$  г/см<sup>3</sup> — критическая плотность Вселенной,  $\Lambda$  — космологическая постоянная. Функциональная связь между  $T_U$ ,  $\Omega$  и  $\Lambda$ , различная в разных однородных и изотропных космологич. моделях, приводит к значениям  $T_U$ , сильно различающимся в зависимости от используемых значений  $\Omega$  и  $\Lambda$ , к-рые ещё недостаточно точно определены.

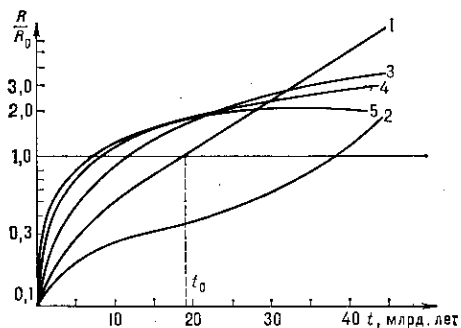


Рис. 1. Зависимость «радиуса» Вселенной — масштабного фактора  $R$  (нормированного на наблюдаемое значение  $R_0$ ) от времени  $t$  для различных значений плотности  $\rho_0$ , эквивалентной плотности вакуума  $\rho_V \sim \Lambda$  и параметра метрики  $k$  (значения плотности даны в единицах  $10^{-30}$  г/см<sup>3</sup>): 1 —  $\rho_0 = 0,5$ ,  $\rho_V = 10$ ,  $k = 0$ ; 2 —  $\rho_0 = 0,6$ ,  $\rho_V = 13$ ,  $k = +1$ ; 3 —  $\rho_0 = 0,5$ ,  $\rho_V = 0$ ,  $k = -1$ ; 4 —  $\rho_0 = \rho_c$ ,  $\rho_V = 0$ ,  $k = 0$ ; 5 —  $\rho_0 = 20$ ,  $\rho_V = 0$ ,  $k = +1$ .

Рис. 1 иллюстрирует нач. этап эволюции Вселенной от момента  $t=0$  до настоящего времени  $t_0$  в нек-рых однородных изотропных космологич. моделях (кривые 1, 2, 3, 4, 5 — зависимость  $R$  от  $t$  для разных космологич. моделей, где  $R$  — масштабный фактор, связанный с расстоянием до «горизонта» Вселенной — см. *Горизонт частицы*, а  $R_0$  — значение  $R$  в момент  $t_0$ ). В зависимости от выбранных значений  $\rho_0$ , плотности вакуума  $\rho_V \sim \Lambda$  и параметра метрики космологической модели  $k$  ( $k = -1, 0, +1$ ) получаются разные значения  $T_U = t_0$ . Среди возможных решений ур-ний, описывающих расширение Вселенной, есть и такие, к-рые дают вначале затяннутое расширение, даже с задержкой на определ. радиусе, а затем ускоренное расширение. Т. о., значения  $T_U$ , полученное из однородных изотропных космологич. моделей, различаются в два раза (10—20 млрд. лет) при использовании простейших соотношений, следующих из закона Хаббла, а для нек-рых моделей (с  $\Lambda$ -членом в ур-ниях теории тяготения Эйнштейна) эти различия ещё больше.

Второй способ определения возраста Вселенной основан на достижениях теории строения и эволюции звёзд.

Возраст звезды определяется по результатам астрономич. наблюдений, позволяющим определить стадию эволюции, на к-рой звезда находится в данный момент (по её положению на *Герцирунга — Расселла диаграмме*), и теории эволюции звёзд, установившей длительность отд. стадий эволюции. К самым старым звёздам относят звёзды шаровых скоплений, на что указывает, в частности, обеднённость их вещества металлами и относительно высокое содержание <sup>4</sup>He (<sup>4</sup>He/<sup>H</sup>  $\approx 0,3$ ). Используя ряд данных о шаровых скоплениях, удалось оценить их возраст — от 9 до 15 млрд. лет. Осн. неточность данного метода связана с погрешностями определения расстояний до шаровых скоплений