

емых единых теорий элементарных частиц приводит к космологич. следствиям, несовместимым с данными наблюдений. Так, напр., согласно единым теориям слабых, сильных и эл.-магн. взаимодействий (см. *Великое объединение*), в горячей Вселенной на самых ранних стадиях её существования должно было рождаться много сверхтяжёлых частиц — магнитных монополей. Плотность вещества, обусловленная этими частицами, к настоящему моменту должна была бы на 15 порядков превосходить наблюдаемую плотность вещества во Вселенной $\rho_0 \sim 10^{-29}$ г/см³. Теория горячей Вселенной не даёт ответов на вопросы: что было до Большого Взрыва; почему риманова геометрия, описывающая свойства пространства нашей Вселенной, с такой огромной степенью точности близка к евклидовой геометрии плоского мира; почему наблюдаемая часть Вселенной в ср. является однородной; откуда в этом однородном мире взялись нач. неоднородности, необходимые для образования галактик; почему разные части Вселенной, сформировавшиеся независимо друг от друга, в настоящее время выглядят практически одинаково; почему все части бесконечной плоской или открытой Вселенной должны были начать своё расширение одновременно. Если же Вселенная замкнута, то было непонятно, как она могла прожить $\sim 10^{10}$ лет, несмотря на то, что типичное время жизни замкнутой горячей Вселенной не должно было бы сильно превосходить т. н. планковское время $t_P \sim M_P^{-1} \sim 10^{-43}$ с (рис. 1).

Здесь $M_P \sim 10^{19}$ ГэВ — планковская масса, $M_P = G^{-1/2}$, где G — гравитационная постоянная [все величины приведены в системе единиц (принятой в теории элементарных частиц), в к-рой скорость света c и постоянная Планка \hbar положены равными единице].

Ныне приобрели особую популярность *Калуцы — Клейна теория* и теория суперструн, согласно к-рым пространство-время Вселенной изначально имело размерность $d > 4$, но в нек-рых направлениях пространство как бы сжалось (скомпактифицировалось) в тонкую трубочку толщиной $l \sim M_P^{-1} \sim 10^{-33}$ см. Поэтому макроскопич. тела не могут двигаться в этих направлениях и пространство-время представляется четырёхмерным. От того, сколько измерений скомпактифицировалось и как именно произошла компактификация, зависит и эфф. размерность пространства Вселенной, и свойства элементарных частиц в нём. Пока не выяснено, почему скомпактифицировались именно $d-4$ измерения (пространство-время оказалось четырёхмерным) и почему после компактификации (и последующих процессов нарушения симметрии) физ. взаимодействия разделились на слабые, сильные и эл.-магнитные.

Осн. часть этих проблем можно решить (или обойти) в рамках теории Р. В. Общая черта разл. вариантов теории Р. В. — это наличие стадии экспоненциального (или квазиэкспоненциального) расширения Вселенной, находившейся в вакуумоподобном состоянии с большой плотностью энергии. Эту стадию наз. стадией раздувания или инфляции. После раздувания вакуумоподобное состояние распадается, рождающиеся при этом частицы взаимодействуют друг с другом, устанавливается термодинамич. равновесие и последующая эволюция происходит согласно теории горячей Вселенной (рис. 1).

В простейшем варианте теории Р. В. в изначально вакуумоподобном состоянии находится пространство, заполненное достаточно однородным медленно меняющимся скалярным полем ϕ . Поля такого типа часто фигурируют в единых теориях элементарных частиц (т. н. Хиггса поля). Свойства полей Хиггса во многом схожи со свойствами бозе-конденсата куперовских пар в теории сверхпроводимости (см. *Бозе — Эйнштейна конденсация*). Однако в отличие от обычного бозе-конденсата, однородное скалярное поле ϕ , рассматриваемое в совр. теориях элементарных частиц, выглядит одинаково как для движущегося, так и для покоя-

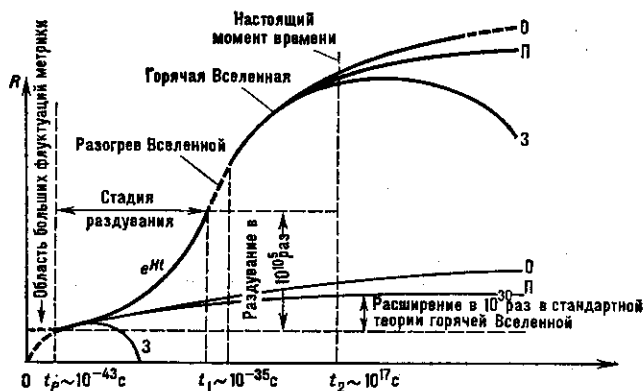


Рис. 1. Изменение размера горячей Вселенной (сб масштабного фактора R) для трёх моделей Фридмана — открытой (O), плоской (Pi) и замкнутой (Z) (тонкие линии). Жирными линиями изображены возможные пути эволюции раздувающейся области Вселенной. Из-за квантовогравитационных флуктуаций классическое описание расширения Вселенной возможно не ранее чем через 10^{-44} с от момента Большого Взрыва (или от момента начала раздувания в данной области), $t = 0$. За время раздувания ($\sim 10^{-35}$ с) раздувающаяся область Вселенной увеличивается в 10^{10} — $10^{10^{10}}$ раз.

щегося наблюдателя. В этом смысле однородное скалярное поле отличается от любой другой материальной среды, с к-рой можно было бы связать выделенную систему отсчёта (систему покоя среды). С точки зрения возможных проявлений, постоянное скалярное поле ϕ ведёт себя как несколько изменённое вакуумное состояние. Осн. ф-ция полей такого рода в единых теориях элементарных частиц состоит в том, что, по-разному взаимодействуя с разными частицами, поле ϕ меняет их массу и константы связи и тем самым нарушает симметрию между разными типами взаимодействий. Значение таких полей для космологии связано, в первую очередь, с тем, что пост. поле ϕ может иметь большую плотность энергии $V(\phi)$, от величины к-рой зависит скорость расширения Вселенной.

В широком классе теорий, включающем теорию массивного скалярного поля $V(\phi) = (m^2/2)\phi^2$, расширение Вселенной тормозит процесс изменения поля ϕ . При больших значениях $V(\phi)$ расширение идёт быстро, а величина поля ϕ меняется очень медленно. Поэтому плотность энергии $V(\phi)$ в течение большого времени остаётся почти постоянной, т. е., в отличие от плотности обычного вещества, она почти не убывает при расширении Вселенной (плотность энергии вакуума не меняется при расширении). Это в конечном счёте и приводит к экспоненциально быстрому росту (раздуванию) областей Вселенной, заполненных большим полем $\phi_{int}(\phi \gtrsim M_P, \text{рис. 2})$: масштабный фактор $R(t) \sim \exp(Ht)$, где $H = \sqrt{8\pi V(\phi)/3M_P^2}$.

Причина того, что расширение Вселенной не приводит к убыванию энергии постоянного скалярного поля, состоит в том, что его тензор энергии-импульса пропорционален метрич. тензору, $T^\nu_\mu(\phi) = V(\phi)g^\nu_\mu$ (см. *Тагетение*). Это соответствует особому ур-нию состояния, связывающему ρ и p — плотность энергии поля ϕ и давление: $\rho = -p = V(\phi)$. При расширении Вселенной плотность энергии должна была бы уменьшаться, $d\rho = -\rho dV$, где dV — увеличение элемента объёма, но это уменьшение компенсируется за счёт того, что расширяющийся элемент объёма совершает при этом отрицательную работу $\rho dV = -\rho dV$. Именно отрицат. значение давления в состоянии с пост. полем ϕ лежит в основе возможности расширения Вселенной с пост. положит. относит. ускорением $\dot{R}/R \sim H^2$.

После того как поле ϕ становится достаточно малым ($\phi \lesssim M_P$), скорость расширения и соответствующая