

хим. элементов в синтезированном веществе незначительна.

Позже из этого вещества формируются галактики, звёзды. Данные наблюдений подтверждают, что вещество, из которого образовались объекты первого поколения, действительно имеет хим. состав, предсказываемый теорией. Для сравнения с наблюдениями важное значение имеют данные о распространённости дейтерия, имеющего космологич. происхождение. Из теории следует, что синтез дейтерия крайне чувствителен к плотности барионов в тот период, когда во Вселенной происходят ядерные реакции, а следовательно, и к сегодняшнему значению плотности барионов во Вселенной. Наблюдаемое кол-во дейтерия согласуется с теорией только в том случае, если сегодняшняя ср. плотность барионов $\Omega_b \approx 0,03$. Поэтому, если ср. плотность всех масс во Вселенной близка к критической ($\Omega \approx 1$), то барионы не могут составлять основ. долю скрытой массы.

После прекращения ядерных реакций плазма Вселенной расширялась и остывала. В этой плазме имелись небольшие неоднородности плотности (стоячие звуковые волны). Эти небольшие сгустки плазмы не могли расти, т. к. было велико давление реликтовых фотонов на плазму (для РИ плазма непрозрачна). Это давление препятствовало силам гравитации уплотнять и паразитовать первичные сгущения. Более того, в достаточно малых масштабах неоднородности плотности (звуковые волны) затухали из-за лучистой вязкости и теплопроводности. Спустя примерно 300 000 лет после начала расширения темп-ра плазмы снизилась до 4000 К, произошла рекомбинация электронов и атомных ядер, и плазма превратилась в нейтральный газ. Этот газ прозрачен для РИ, и оно стало свободно выходить из газовых сгустков. Силам тяготения, сжимающим сгустки, стало противостоять только относительно слабое давление нейтрального газа. Тяготение на этом этапе развития Вселенной стало превосходить силы газового давления и сжимать сгустки вещества, масса к-рых превосходила $\sim 10^6 M_\odot$ ($M_\odot = 1,99 \cdot 10^{33}$ г — масса Солнца). Сгущения таких и больших масштабов росли и образовали гравитационно связанные массивные плоские тела («блины» массой $10^{13} - 10^{14} M_\odot$), из к-рых сформировалась затем крупномасштабная структура Вселенной.

Для проверки теории возникновения крупномасштабной структуры (сверхскоплений и скоплений галактик) важны наблюдения степени изотропии РИ. До эпохи рекомбинации космич. плазмы флуктуации плотности плазмы сопровождалась флуктуациями РИ (плазма была непрозрачна для РИ). После рекомбинации излучение стало свободно распространяться в пространстве, и поэтому РИ должно нести информацию о неоднородностях, бывших в момент рекомбинации. Т. о., наблюдения интенсивности РИ в разных направлениях позволяют оценить степень неоднородности плазмы в момент рекомбинации. Оказывается, что в масштабах масс, соответствующих скоплениям галактик, амплитуда относит. возмущений интенсивности РИ, а следовательно, и плотности вещества была заведомо меньше 10^{-3} . Если вещество Вселенной состоит только из барионов и $\Omega_b \approx 0,03$, то с момента рекомбинации и до наших дней возмущения плотности могли вырасти из-за гравитац. неустойчивости примерно в 10 раз. Из-за своей малой величины они не могли привести к формированию скоплений галактик. С др. стороны, если $\Omega_b \approx 1$ (т. е. скрытая масса состоит из барионов), то возмущения успевают вырасти к нашему времени примерно в тысячу раз. Этого достаточно для формирования «блинов» (протоскоплений галактик), но значение $\Omega_b \approx 1$ противоречит реальной распространённости дейтерия во Вселенной. Остаётся предположить, что скрытая масса состоит в основном из слабозадействующих частиц и что флуктуации плотности

их распределения сыграли существенную роль в формировании структуры Вселенной. Сгущения таких частиц своим тяготением могли содействовать образованию барионных сгущений (первоначально малых, на что указывает изотропия РИ).

Помимо гипотезы о возникновении крупномасштабной структуры из первоначально малых адиабатич. флуктуаций плотности, в К. рассматриваются и др. гипотезы образования наблюдаемой структуры Вселенной (энтропийная, вихревая), однако ни одна из них не может пока считаться полностью удовлетворительной.

5. Проблема начала космологического расширения

Успехи физики элементарных частиц при больших энергиях позволили приступить к исследованию процессов, имевших место в самом начале расширения Вселенной. Согласно теории, при $T > 10^{13}$ К вещество состояло в основном из кварков. При $T \sim 10^{15}$ К вещество содержало большое кол-во промежуточных бозонов — частиц, осуществляющих единое электрослабое взаимодействие. При ещё больших темп-рах ($T \sim 10^{28}$ К) происходили процессы, к-рые, вероятно, обусловили само существование вещества в сегодняшней Вселенной. При $T > 10^{28}$ К во Вселенной имелось большое число очень массивных т. н. X- и Y-бозонов, осуществляющих единое сильное и электрослабое взаимодействие (см. *Великое объединение, Суперсимметрия*). С участием этих частиц кварки могут превращаться в лептоны и обратно. В это время кол-во частиц и античастиц каждого сорта было, вероятно, совершенно одинаковым. Когда темп-ра расширяющейся Вселенной стала ниже 10^{28} К, X- и Y-бозоны и их античастицы начали распадаться, причём их распад происходил по-разному. В результате распада образовалось несколько больше частиц, чем античастиц. Это привело в конце концов к тому, что во Вселенной при $T \sim 10^{13}$ К возник небольшой избыток ($\sim 10^{-9}$) барионов над антибарионами. Этот избыток барионов и привёл к существованию небольшой примеси обычного вещества в море лёгких частиц (при $T < 10^{12}$ К), и из этого вещества сформировались позднее все небесные тела.

При темп-ре $T > 10^{28}$ К Вселенная находилась, вероятно, в состоянии чрезвычайно быстрого расширения (и инфляции; см. *Раздувающаяся Вселенная*). Этот процесс, возможно, был обусловлен особым состоянием имевшегося во Вселенной скалярного поля (или полей), для к-рого ур-ние состояния имеет вид

$$P = -\rho c^2. \quad (8)$$

Такое состояние скалярного поля получило назв. «ложного вакуума» или «вакуумоподобного состояния». Согласно ур-ниям тяготения, оно даёт эффект того же характера, что и положит. космологическая постоянная ($\Lambda > 0$). Подстановка (8) в (5) показывает, что ρ при этом не меняется со временем. Из ур-ния (3) следует, что вместо сил тяготения, обуславливающих $\ddot{R} < 0$, при отрицат. давлении P действуют силы гравитац. отталкивания и $\ddot{R} > 0$. В результате Вселенная расширяется по экспоненциальному закону $R(t) \sim \exp(t/t^*)$ (где $t^* \leq 10^{-34}$ с — постоянная) и за короткое время масштабный фактор возрастает в огромное число раз. В конце периода инфляции плотность энергии скалярного поля переходит в плотность массы обычной материи ультрарелятивистских частиц и античастиц, и далее расширение протекает с замедлением в согласии с обычной (иногда говорят «стандартной») теорией Фридмана. Стадия инфляции, вероятно, объясняет такие фундам. свойства сегодняшней Вселенной, как однородность в больших масштабах, близость ср. плотности материи к критич. значению $\Omega = 1$ и др. При переходе плотности скалярного поля в плотность обычной материи должны возникнуть первичные ма-