

Характерные параметры наибольшего сжатия в такой теории определить гораздо труднее. Простейшая оценка состоит в том, чтобы положить  $a \sim b \sim c \sim l_{пл} \sim \sqrt{\frac{G\hbar}{C^3}} \sim 10^{-33}$  см, что даст  $t_1$  — время остановки:

$$\frac{t_1}{T} = \left(\frac{l_{пл}}{CT}\right)^3 = \left(\frac{t_{пл}}{T}\right)^3; t_1 = t_{пл} \left(\frac{t_{пл}}{T}\right)^2 = 10^{-163} \text{ сек.} \quad (23.7.4)$$

Возможно, что параметры зависят именно от анизотропии сжатия, т. е. от того, что  $a, b, c$  различны, тогда как выше мы приближенно, усредняя по циклам и эрам решения Лифшица, Халатникова, Белинского, считали  $a \sim b \sim c$ .

Но и в этом случае получится  $t_1 \ll t_{пл}$ .

Такой результат не удивителен, так как Вселенная представляет собой огромный — самый большой — объект. Но тогда естественно, что для Вселенной в целом квантовые эффекты возникают позже (ближе к сингулярности), чем для ее частей. Поэтому вряд ли верна буквально теория минисверхпространства Мизнера, основанная на классических уравнениях ОТО. Вероятно это направление возродится позже, когда будут достаточно исследованы локально-квантовые эффекты.

## § 8. Гипотеза несохранения барионов и зарядовая несимметрия элементарных частиц

Радикальным решением вопроса о зарядовой симметрии Вселенной является отказ от сохранения барионного заряда. Одновременно отпал бы и важнейший мотив — непрерывность барионных мировых линий — для поисков теории перехода через сингулярность.

Рассмотрим вкратце некоторые работы, в которых делается попытка развить гипотезу несохранения барионного заряда.

В первой работе — Сахарова (1967а) предполагается, что возможен процесс  $p \leftrightarrow 2\mu^+ + \mu^-$ . Во второй работе — Кузьмина (1970) вводится процесс  $\chi^0 \rightarrow N$  (или  $\bar{N}) + l + \bar{l}$ , где  $\chi^0$  — истинно нейтральный фермион,  $N$  ( $\bar{N}$ ) — барион (антибарион),  $l$  ( $\bar{l}$ ) — лептон (антилептон). Наконец, в недавних работах Пати, Салама (1973) возможность несохранения барионного заряда связывается с гипотезой, согласно которой барионы состоят из кварков с целыми электрическими зарядами.

Конечной целью упомянутых работ является получение современного зарядово-несимметричного состояния в предположении начального симметричного состояния горячей плазмы. Нужно подчеркнуть, что для получения этого результата необходимо, но недостаточно ввести несохранение барионов.

В самом деле, в теории элементарных частиц можно переносить частицу с правой стороны на левую сторону, превращая ее в анти-

частицу. Следовательно, наряду с процессами рождения и уничтожения барионов, идут и процессы рождения и уничтожения антибарионов.

До 1964 г. догматом веры было к тому же равенство всех вероятностей и сечений, относящихся к частицам и античастицам. В такой теории зарядовая асимметрия, очевидно, не возникнет и после того, как будет сделано предположение о несохранении барионного заряда.

Однако в настоящее время мы знаем на основе точных лабораторных экспериментов, что нет точной симметрии свойств частиц и античастиц. Согласно современной теории, точно равны массы частиц и античастиц, равны по величине и противоположны по знаку заряды частиц и античастиц. Более того, равны полные вероятности распада нестабильных частиц и античастиц. Однако при наличии нескольких вариантов распада проявляется нарушение зарядовой симметрии. Так, например, экспериментально достоверно установлено, что вероятность распада долгоживущего нейтрального каона  $K_L$  на  $\pi^-$ ,  $e^+$ ,  $\nu_e$  больше, чем на  $\pi^+$ ,  $e^-$ ,  $\bar{\nu}_e$ , в отношении 1,003. Следовательно, в принципе можно представить себе, что  $W^+$  и  $W^-$  — бозоны, у которых есть несколько каналов распада, — имеют различную вероятность распада с изменением барионного заряда. Пусть вероятность процесса  $W^+ = p + \nu$  больше вероятности процесса  $W^- = \bar{p} + \bar{\nu}$  и это компенсируется обратным соотношением вероятностей  $W^+ = e^+ + \nu$  и  $W^- = e^- + \bar{\nu}$ . При распаде смеси из равного числа  $W^+$  и  $W^-$  может возникнуть избыток  $p$  и  $e^-$  над  $\bar{p}$  и  $e^+$ , т. е. возникнет обычное вещество.

Ожидаемый эффект ничтожен, и, по-видимому, объяснить таким образом асимметрию Вселенной не удастся. Дело в том, что происходит переменушение малых величин, нагромождение маловероятных гипотез. Прежде всего, несохранение барионного заряда до сих пор не наблюдалось. При несохранении барионов любое ядро способно распадаться, например:

$$\text{He}^4 = p + p + \text{энергия.}$$

Эксперимент приводит к суровым ограничениям: вероятность распада такого рода меньше  $10^{-37} \text{ сек}^{-1}$ , что соответствует времени жизни больше  $10^{30} \text{ лет}$ . Отсюда вытекает малая вероятность самого элементарного процесса  $W^+ = p + \nu$  или  $2\mu^+ + \mu^- = p$  или других подобных процессов.

Все остроумие цитированных выше работ заключается в преодолении этого кажущегося противоречия. Можно ли совместить значительную вероятность процессов несохранения барионного заряда (необходимую для того, чтобы процесс мог играть космологическую роль) с наблюдаемой стабильностью нуклонов и ядер? Предположим, что кварки способны распадаться на  $n$  лептонов,

$q \rightarrow nl$ , и взаимодействие распада пропорционально малой константе  $g_*$ , так что время жизни кварка  $\tau_q \sim g_*^{-2}$ .

Барион состоит из трех кварков; динамика взаимодействия кварков предполагается такой, что кварк и дикуарк гораздо тяжелее, чем трикуарк, т. е. барион:

$$m_q \gg m_B, \quad m_{2q} \gg m_B, \quad m_{3q} \approx m_B.$$

В таком случае распад

$$B \Rightarrow (3q) \rightarrow (2q) + nl$$

энергетически запрещен. Барион либо распадается целиком, т. е. так, что все три кварка превращаются в лептоны, например:

$$B \rightarrow 3nl,$$

либо совсем не распадается. В такой схеме распад бариона есть процесс третьего порядка, и грубая оценка даст

$$\tau_B \sim g_*^{-6}, \quad \tau_B \approx \tau_q^3 \left( \frac{\hbar}{m_B c^2} \right)^{-2}.$$

Значит, полагая, например,  $\tau_q \approx 10^{-8}$  сек, получим  $\tau_B \approx 10^{38}$  сек, что не противоречит опыту [Пати, Салам (1973)].

Такая гипотеза является необходимым — с точки зрения космологии — дополнением идеи кварков. Спонтанный распад кварков, если такие частицы вообще существуют, нужен для объяснения отрицательного результата поисков свободных кварков\*).

Вернемся к вопросу о возможном объяснении избытка барионов.

Асимметрия — различие между частицами и античастицами — во всех случаях мала. Выше написано, что в принципе такое отличие есть, но надо уточнить: в теории сильного и электромагнитного взаимодействий отличия нет, оно появляется только как малая поправка в процессах слабого взаимодействия. Наконец, асимметрия частиц и античастиц не нарушает термодинамики применительно к стационарному, равновесному состоянию. Если  $\omega_1$ -вероятность процесса  $W^+ = p + \bar{\nu}$  больше  $\omega_2$ -вероятности процесса  $W^- = \bar{p} + \nu$ , то обязательно  $\sigma_1$ -сечение  $\nu + p = W^+$  также больше  $\sigma_2$ -сечения  $\bar{\nu} + \bar{p} = W^-$ . По-видимому, равновесная концентрация  $p$  и  $\bar{p}$  останется одинаковой в статическом случае и при учете того, что теория несимметрична. Это утверждение подобно точной теореме о равенстве масс частиц и античастиц. К сожалению, нет работ, в которых исследовались бы термодинамические выводы зарядово-несимметричной теории.

\*) Другой выход заключается в предположении, что барионы состоят из двух кварков и одного антикварка ( $B = 2q\bar{q}$ ), барионный заряд целый и они нестабильны, несмотря на точное сохранение барионного заряда.

Вернемся к космологии. Избыток барионов над антибарионами может получиться лишь в связи с тем, что задача нестационарна, происходит расширение, задана «стрела» времени! Но это значит, что появится еще один множитель меньше единицы. Дальнейшая дискуссия о теории, не сформулированной количественно ее авторами, вряд ли целесообразна. Никто до сих пор не показал, что можно совместить наблюдаемую стабильность ядер в лаборатории и состав Вселенной с зарядово-симметричным сингулярным состоянием.

Но высшая ирония заключается в том, что после экспериментального открытия зарядовой несимметрии в физике частиц сама идея зарядово-симметричной Вселенной в значительной мере теряет свою привлекательность!

### § 9. Холодная Вселенная и спектр возмущений

Рассмотрим гипотезу о холодном веществе, состоящем из одних только барионов (без примеси антибарионов), вблизи сингулярности.

Эта гипотеза противоположна гипотезам о зарядово-симметричной Вселенной, изложенным выше.

Сосуществование противоположных гипотез в одной книге отражает всю трудность вопроса о состоянии Вселенной и заполняющего Вселенную вещества вблизи сингулярности. Последовательное логическое и математическое развитие каждой гипотезы и ее следствий до сопоставления с наблюдениями является единственным способом выяснения истины. Возрождение гипотезы холодной Вселенной только отчасти связано с трудностями других, «горячих» теорий. «Холодная» гипотеза естественно сочетается с предположением об изотропном (фридмановском) характере расширения вблизи сингулярности.

Изотропия означает макроскопическую упорядоченность начального состояния, малая начальная энтропия соответствует упорядоченности на микроскопическом уровне!

В настоящее время Вселенная является «горячей», удельная энтропия велика.

Неотъемлемой частью гипотезы о холодном начале эволюции является объяснение того, когда и как возникла современная большая энтропия, когда и как Вселенная стала горячей. Предполагается, что это произошло при  $t'$  таком, что  $10^{-6} \text{ сек} \gg t' \gg t_{\text{пл}} = 10^{-48} \text{ сек}$ , в результате превращения в тепло энергии малых возмущений.

Для этого необходимы возмущения той же амплитуды, что и для образования скоплений галактик, но предельно малой длины волны. Предположение о едином спектре возмущений в широчайшем диапазоне длин волн приводит к разумному объяснению величины энтропии.