

ЗАРЯДОВАЯ НЕСИММЕТРИЯ И ЭНТРОПИЯ ГОРЯЧЕЙ ВСЕЛЕННОЙ

Я.Б.Зельдович, И.Д.Новиков

Измерения космического фона радиоизлучения на длинах волн 20; 7; 3 и 0,25 см [1,2] подтверждают теорию горячей Вселенной [3,4] 1).

Безразмерная энтропия (отнесенная к одному бариону, в системе единиц с постоянной Больцмана $k = 1$) составляет около 10^9 . Это значит, что на каждый барион приходится около 10^8 квантов электромагнитного излучения и примерно столько же электронных и мюонных нейтрино.

Отсюда для раннего периода $t < 10^{-6}$ сек (отсчет от момента сингулярности, $t = 10^{-6}$ соответствует температуре $T = 100$ Мэв, плотности $\rho = 5 \cdot 10^{17}$ г/см³) следует, что на каждый барион приходилось также около 10^8 барион-антибарионных пар. Таким образом, асимптотически при $t \rightarrow 0$ на каждые $N = 100\,000\,000$ барионов приходится

$\bar{N} = 99\,999\,999$ антибарионов и примерно такое же количество мезонов и лептонов²⁾. Малая, но сохраняющаяся разность $\Delta = N - \bar{N}$ (состав отнесен к $\Delta = 1$) играет решающую роль для всей последующей эволюции вещества!

Такое почти зарядовосимметричное состояние представляется весьма неестественным. Альтернативная гипотеза о полной зарядовой симметрии Вселенной [2,6] не представляется нам убедительной. Ниже мы попытаемся дать естественное объяснение отмеченной выше малой зарядовой несимметрии при большой плотности.

Исключать из рассмотрения период времени $t \sim 10^{-6}$ сек, когда $\rho \approx 10^{17}$ г/см³, нет оснований: границы применимости общей теории относительности и релятивистской космологии соответствуют $t = 10^{-43}$ сек, $\rho = 10^{93}$ г/см³ [7]. Период 1 сек $< t < 100$ сек рассматривается количественно и приводит к выводам о составе дозвездного вещества, не противоречащим наблюдениям [8].

Рациональное решение загадки почти зарядовосимметричного состояния можно дать, предполагая, что при $t < 0$ имела место фаза сжатия вещества.

Предположим, что при $t \approx -10^{18}$ сек никаких антибарионов не было, имелись только барионы (нуклоны, обычные ядра, ионы и атомы). Средняя плотность в этот момент 10^{-30} г/см³. Предположим, что к этому моменту выделилась энергия порядка $E = 10^{16}$ эрг/г в результате ядерных реакций или гравитационных процессов (если выбрать более поздний момент, когда ρ больше, то потребная энергия E растет, $E = 10^{22}(-t)^{2/3} = 10^{26}\rho^{1/3}$). Для сравнения напомним, что масса покоя равна $9 \cdot 10^{20}$ эрг/г, энергия превращения $H \rightarrow He^4 \sim 7 \cdot 10^{18}$ эрг/г, гравитационный потенциал на поверхности Солнца $2 \cdot 10^{15}$ эрг/г.

В ходе сжатия эта энергия (которая первоначально могла находиться в форме оптических квантов и энергичных нейтрино) должна перейти в равновесные формы; приведенное значение E обеспечивает необходимую энтропию. В этом случае возникновение барион-антибарионных пар и удивительное почти зарядовосимметричное состояние являются уже естественным следствием известных законов физики.

Естественно предположить также, что переход от сжатия к расширению не нарушает известных законов сохранения барионного заряда и сохранения удельной энтропии.

Следовательно, на фазе расширения мы имеем ту же высокую удельную энтропию и почти полную зарядовую симметрию при больших плотностях. В частности, отсюда следует, что циклическая эволюция с бесконечным числом циклов сжатия и расширения не согласуется с конечным значением энтропии в настоящее время.

Общей трудностью всякой гипотезы о сжатии, сменяющемся расширением (в том числе и предлагаемой гипотезы) является вопрос о пространственной однородности вещества на ранней стадии. Наблюдаемая в настоящее время картина, по-видимому, требует высокой степени однородности начального (сингулярного) состояния [9], не ясно, выравняются ли неоднородности световым давлением и давлением плазмы

при различных возможных предположениях о состоянии вещества при $t < 0$, в фазе сжатия.

Выше момент выделения данной энергии был произвольно выбран так, чтобы дать значение энтропии S , известное из наблюдений. В принципе фундаментальная теория сама должна приводить к определенному S . Например, если при $t < 0$ считать вещество однородным и состоящим из частиц с массой порядка массы нуклона m , которые выделяют энергию порядка mc^2 , превращаясь в нуклоны при столкновениях с сечением $(\hbar/mc)^2(c/v)$, то простой расчет даст

$$S^{12} \cong \frac{\hbar}{mc} : \sqrt{Gk/c^3} = \ell_c : \ell_g = 10^{-14} \text{ см} : 10^{-33} \text{ см}, S \sim 3 \cdot 10^8,$$

где ℓ_c - комптоновская длина волны нуклона, ℓ_g - гравитационная единица длины [7].

Таким образом, фундаментальная для космологии величина S , возможно, выражается через комбинацию атомных и гравитационных величин. От внешне аналогичных формул Эддингтона, Дирака и др. выражение S отличается тем, что S есть локальная величина и выражение получено логическим путем, из рассмотрения физических процессов в ходе эволюции.

Сомнение вызывает конкретные предположения о выделении энергии и особенно об однородном (в микроскопическом масштабе!) распределении частиц. Мы приводим результат лишь для того, чтобы подчеркнуть, что появилась новая теоретическая задача вычисления большой безразмерной величины S .

Закон сохранения энергии для Вселенной как целого ³⁾ не ограничивает удельной энергии E_1 , приходящейся на один барион и измеренной локально. Выделение малой энергии $\Delta E_1 \ll mc^2$ и последующее сжатие приводит к состоянию, в котором $E_1 \gg mc^2$ и, в частности, - к рождению пар $N-\bar{N}$ в количестве, превышающем исходное число барионов.

Таким образом, можно предполагать, что Вселенная на 100% зарядовонесимметрична, за исключением краткого периода большой плотности, когда она по естественным причинам почти симметрична.

Пользуемся случаем выразить благодарность Б.П.Константинову и А.Д.Сахарову за дискуссии, приведшие к постановке вопроса, рассматриваемого в заметке.

Поступило в редакцию

2 июня 1966 г.

Литература

- [1] A.A. Penzias, R.W.Wilson. J.Appl. Phys., 142, 419, 1965.
- [2] Тезисы докладов Симпозиума № 29 МАС, Буракан, май 1966.
- [3] R.A.Alpher, H.A.Bethe, G.Gamov. Phys. Rev., 73, 803, 1948.
- [4] R.H.Dicke, P.J.E.Peebles, P.G.Roll, D.T.Wilkinson. J.Appl. Phys., 142, 414, 1965.
- [5] Я.Б.Зельдович, И.Д.Новиков. Астрон. ж., 43, №6, 1966.
- [6] Х.Альвен. Астрон.ж., 42, 873, 1965.
- [7] Дж.Уилер. Гравитация, нейтрино и Вселенная. М., Изд.иностр.лит., 1962.
- [8] Ю.Н.Смирнов. Астрон.ж., 41, 1084, 1964.
- [9] Я.Б.Зельдович, И.Д.Новиков. Астрон. ж., 43, №4, 1966.

-
- 1) Объяснение космического радиоизлучения выделением энергии в протозвездах с последующим охлаждением излучения на пыли маловероятно [5].
 - 2) При плотности $\rho > 5 \cdot 10^{17}$ г/см³ размер объема, приходящегося на один барцион, меньше комptonовской длины волны и неясно, можно ли говорить об отдельных барционах и антибарционах. Однако при плотности, скажем, $2 \cdot 10^{17}$ г/см³ сомнений в применимости понятий барцион и антибарцион нет, а почти полная зарядовая симметрия уже есть.
 - 3) Энергия замкнутого мира тождественно равна нулю, открытого - бесконечна.