

К вопросу о «проблеме совпадения» в космологии

Ю. В. Александров

Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина

Как известно, современная космологическая модель (СКМ) предполагает, что наблюдаемое ускоренное расширение Вселенной вызывается физическим вакуумом, то есть средой с уравнением состояния $p = -\varepsilon$, где p – давление, а ε – плотность энергии. При этом относительная плотность энергии вакуума в современную эпоху $\Omega_V = 0.7$. Остальные 30% составляет вклад материи с уравнением состояния $p = 0$, (бесстолкновительная материя с $\Omega_M = 0.3$), а полное значение $\Omega = 1$.

При этом в СКМ возникает «проблема совпадения», суть которой состоит в вопросе: «Почему именно в современную эпоху эволюции Вселенной вклады в полную плотность энергии вакуума и бесстолкновительной материи соизмеримы, в то время как в прошлом должен преобладать вклад этой материи, а в будущем – вклад вакуума. Что сформировало приведшие к этому начальные условия?» [4]. Основные усилия по решению «проблемы совпадений» сейчас направлены на то, чтобы построить космологическую модель с квинтэссенцией, то-есть средой с переменным во времени уравнением состояния, которое обеспечивало и ускоренное расширение Вселенной в современную эпоху и соизмеримость величин Ω_V и Ω_M сейчас и в будущем [2,5]. Хотя нужно заметить, что и в рамках СКМ возраст Вселенной, в течение которого величина Ω_V изменяется в пределах одного десятичного порядка (от 0.1 до 0.9), достаточно большой – от 9 до 16 млрд. лет.

Но можно предложить космологическую модель с физическим вакуумом значительно увеличивающую указанный выше интервал. Для этого нужно предположить, что физический вакуум не заполняет равномерно все пространство, а образует двумерные поверхностные структуры – «доменные стенки» (возможно совпадающие с крупномасштабной ячеистой структурой Вселенной) [3]. Уравнение состояния такой вакуумоподобной среды будет иметь вид: $p = -\frac{2}{3}\varepsilon$ (см., например, [1]). В такой модели возможно ускоренное расширение Вселенной, а плотность энергии вакуума будет уже не постоянной, но будет с течением времени убывать ($\varepsilon_V \propto a^{-1}$), хотя и медленнее, нежели плотность энергии бесстолкновительной материи ($\varepsilon_M \propto a^{-3}$). Представим полную плотность энергии в виде:

$$\varepsilon = \varepsilon_* \left[\frac{a_*}{a} + \left(\frac{a_*}{a} \right)^3 \right], \quad (1)$$

где a – масштабный фактор, a_* – его значение, в эпоху, в которую значения плотностей энергии обоих компонент совпадают и равны ε_* . Отсюда следует, что величина

$$\frac{1}{\Omega_V} = \frac{a_* / a + (a_* / a)^3}{a_* / a} = 1 + \left(\frac{a_*}{a} \right)^2. \quad (2)$$

Легко вычислить, что значения отношения a/a_* для значений $\Omega_\nu = 0.1; 0.7$ и 0.9 равны $0.33; 1.52$ и 3 соответственно.

Запишем теперь основное дифференциальное уравнение метрической эволюции плоской Вселенной в виде:

$$\frac{\dot{a}^2}{c^2} = \frac{8\pi G}{c^4} \varepsilon a^2. \quad (3)$$

Если подставить в (3) выражение (1), ввести обозначение

$$\frac{8\pi I}{3c^4} = a_0^{-2} \quad (4)$$

и разделить в (3) переменные, то получим, что

$$ct = a_0 \int_0^x \sqrt{\frac{x}{1+x^2}} dx, \quad (5)$$

где безразмерная переменная интегрирования $x = a/a_*$.

Из (1) и (3) можно также найти параметр Хаббла

$$H = \frac{\dot{a}}{a} = \frac{c}{a_0} \sqrt{\frac{a_*}{a} + \left(\frac{a_*}{a}\right)^3} \quad (6)$$

и параметр замедления

$$q = -\frac{\ddot{a}}{aH^2} = \frac{1}{2} \left(\frac{c}{a_0 H} \right)^2 \left[\left(\frac{a_*}{a} \right)^3 - \frac{a_*}{a} \right]. \quad (7)$$

Из (7) следует, что при значении масштабного фактора, равном a_* , происходит переход от замедленного расширения Вселенной к ускоренному.

Подставляя в (6) современные значения параметра Хаббла $H_c = 65 \text{ км/с/Мпк}$ и найденное выше современное значение величины $x_c = 1.52$, найдем, что значение величины $a_0 = 1.42 \cdot 10^{28} \text{ см}$. Значение ε_* оказывается равным $1.33 \cdot 10^{-8} \text{ эрг/см}^3$.

Если теперь вычислить значения моментов времени для интересующих нас значений отношения a/a_* , то получим следующую таблицу.

Таблица 1.

a/a_*	0.33	1	1.52	3
t , млрд. лет	1.8	8.2	13.6	26.6

Из этой таблицы видно, что в современную эпоху в рассматриваемой космологической модели Вселенная расширяется уже ускоренно и промежуток времени, в течение которого плотности энергий вакуума и бесстолкновительной материи соизмеримы, составляет достаточно большую величину – примерно 25 млрд. лет, что, по крайней мере, больше времени жизни нашего Солнца. Кроме того, возможен сдвиг интервала соизмеримости примерно на 5 млрд. лет, что расширяет диапазон допустимых начальных условий.

Если учесть то обстоятельство, что доменные стенки представляют собою в действительности квазидвумерные структуры (нужно лишь, что бы их толщина была достаточно мала по сравнению с расстоянием между ними), то появляется свободный параметр – доля объема, занятого стенками, что дает возможность

согласовать наблюдаемую плотность энергии вакуума с представлениями физики элементарных частиц о нем (планковской плотностью энергии как ее оценкой сверху) .

Таким образом, модель доменной структуры Вселенной позволяет если не полностью решить, то, по крайней мере, существенно смягчить «проблему совпадения» в современной космологии.

Литература

1. Александров Ю. В. Основы многомерной космологии. – Х.: ХНУ, 2007. – 64 с.
2. Лукаш В. Н., Рубаков В. А. // Успехи физ. наук. – 2006. – т. 178, № 3.
3. Fereira A, Joyce M. // Phys. Rev. Lett. – 1997. – v. 79? № 4740.
4. Steinhardt P. // Critical Problems in Physics / Ed. by V. L. Fith and D. R. Marlow. – Princtton: Princeton V. Press, 1997.
5. Zlatev ?, Wang L., Steinhardt P. astro-ph / 9807002.