

где E – постоянная интегрирования. Последнее уравнение имеет простую интерпретацию – оно отражает закон сохранения энергии для изолированного элемента Метагалактики с единичной массой. Оправданием этого вывода является то, что он приводит к решению, отвечающему основному принципу космологии – закону Хаббла

$$v_{12} = H(t)r_{12},$$

где v_{12} и r_{12} – относительная скорость и расстояние между двумя элементами (1, 2) Метагалактики. Необходимо подчеркнуть, что приведенное выше соотношение справедливо лишь для времени $t \approx t_0$. При временах $t \ll t_0$ Метагалактика имеет меньшие размеры, и при вычислении расстояния r_{12} следует использовать более сложные соотношения.

Вакуум и другие формы космической материи

По наблюдательным данным о сверхновых, о которых мы упоминали, плотность вакуума ρ_v превышает суммарную плотность остальных компонентов космической среды: темного вещества (ρ_d), светящегося вещества звезд и галактик (ρ_p) и излучения (ρ_r).

Обычно плотности компонентов относят к так называемой критической плотности $\rho_c = (3/8)(H^2/G) = 0,6 \cdot 10^{-29} \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$. Теперь приведем последние экспериментальные данные для этих отношений:

$$\rho_v/\rho_c = 0,7 \pm 01,$$

$$\rho_d/\rho_c = 0,3 \pm 01,$$

$$\rho_p/\rho_c = 0,02 \pm 0,01,$$

$$\rho_r/\rho_c \sim 10^{-4}.$$

Здесь нужно сделать одно замечание, Иногда темную материю, состоящую из неизвестных электронейтральных частиц, включают в Λ -член. Это абсолютно неверно. Темная материя занимает периферическую часть галактик и, следовательно, распределена (в отличие от вакуума) крайне неравномерно, а Λ -член занимает почти равномерно всю Галактику. Реальная материя состоит из известных частиц (протонов, нейтронов, электронов, фотонов и других частиц). Однако упомянутая путаница не совсем безосновательна. Вопрос «из чего» состоит Λ -член, вероятно, основной в физике вакуума и также далек от окончательного решения.

Но одно условие остается – Λ -член (который иногда отождествляют с вакуумом), если и состоит из частиц, то последние должны обладать уникальными свойствами: отсутствием спина (скалярные частицы), стабильностью и электронейтральностью. В противном случае не будет выполняться основное условие $p = -\epsilon$, и вакуум превратится в отвергнутый давно эфир. Оказывается, найти такие частицы среди четырехсот уже обнаруженных на ускорителях частиц совсем не просто. Наиболее подходящим кандидатом в частицы вакуума являются частицы Хиггса, которые еще уверенно не обнаружены непосредственно, но их существование является необходимым условием для форми-

рования теории, объединяющей электромагнитное и слабое взаимодействия. (По самым последним и очень надежным данным, полученным на ускорителе LEP, масса Хиггс-бозона порядка 150 ГэВ.)

Проблема природы темной материи также весьма интересна, хотя темная материя не так универсальна, как вакуум, и, вероятно, не играет в эволюции Вселенной столь принципиальной роли.

Вакуум является основой еще одного фундаментального вопроса: почему его плотность $\rho_v < 10^{-29} \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$ столь мала? Оценки, основанные на соображениях размерности, указывают, что значение ρ_v должно быть на много десятков порядков больше. Действительно,

$$\rho_v \approx m \left(\frac{\hbar}{mc} \right)^{-3},$$

поэтому если даже принять $m = 10^{-24} \text{ г}$ (протон), то приходим к значению $\rho_v \sim 10^{16} \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$. Если же полагать, что масса m определяется фундаментальными постоянными \hbar , G и c , то плотность должна была бы достигнуть уж совсем фантастической величины.

Закключение

Интерпретация различия между этими оценками и реальным значением ρ_v является, пожалуй, наиболее интригующей проблемой фундаментальной физики. По нашему мнению, возможно, что вакуум Вселенной состоит из массивных частиц и что его плотность весьма велика. Однако при образовании Метагалактики происходит фазовый переход, который существенно уменьшает массу вакуумных частиц и трансформирует их энергию в реальные частицы и энергию их движения. Чрезвычайная малость массы вакуумных частиц определяется необходимостью длительного существования Метагалактики для образования сложных форм материи.

