

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  $\rho_v$  превышает суммарную плотность остальных компонентов космической среды: темного вещества ( $\rho_d$ ), светящегося вещества звезд и галактик ( $\rho_p$ ) и излучения ( $\rho_r$ ).

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  $\Lambda$ -член. Это абсолютно неверно. Темная материя занимает периферическую часть галактик и, следовательно, распределена (в отличие от вакуума) крайне неравномерно, а  $\Lambda$ -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  $\Lambda$ -член, вероятно, основной в физике вакуума и также далек от окончательного решения.

Но одно условие остается –  $\Lambda$ -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 не 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  $\rho_v$  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  $\rho_v$  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.

