

Букалов А. В.

## ТЕМНАЯ ЭНЕРГИЯ И ЭНТРОПИЯ ВСЕЛЕННОЙ

Центр физических и космических исследований, Международный институт соционики,  
ул. Мельникова, 12, г. Киев-50, 04050, Украина  
e-mail: bukalog.physics@socionic.info

Начало эпохи доминирования энергии вакуума, или темной энергии, и смена знака ускорения расширения Вселенной приводит к изменению знака плотности излучения Бекенштейна-Хокинга для расширяющейся Вселенной. Доминирование темной энергии приводит к излучению потока энергии с отрицательной плотностью, который поглощается объектами, движущимися в вакууме. Этот эффект может быть связан с формированием космических структур, включая появление феномена жизни.

*Ключевые слова:* энергия вакуума, темная энергия, температура Хокинга, расширение Вселенной, голографический принцип.

Вопрос об изменении энтропии Вселенной до сих пор не нашел удовлетворительного ответа. Как известно, энтропия  $S_\gamma$  микроволнового излучения (СМВР), образовавшегося при Большом Взрыве, является постоянной величиной в силу адиабатического расширения Вселенной [1]. Однако ряд авторов, рассматривая гравитационные степени свободы, связывают рост энтропии Вселенной с ее расширением, поскольку радиус Хаббла  $R_H = cH^{-1} = ct_H$  является функцией времени, а энтропия вычисляется для поверхности в радиусе Хаббла. Тогда, исходя из аналогии с формулой Бекенштейна-Хокинга для черной дыры, количество информационных ячеек на поверхности сферы Хаббла может быть оценено как

$$N = \frac{4\pi R_H^2(t)}{4L_p^2}, \quad (1)$$

где  $L_p = G_N \hbar / c^3$  — планковская длина. Эта формула используется и в голографическом принципе, применение которого дало возможность получить ряд известных уравнений физики [2, 3].

Рассмотрение Вселенной в радиусе Хаббла  $R_H = cH^{-1} = ct_H$  по аналогии с черной дырой с массой  $M_H$  и плотностью

$$\rho_c = \frac{3}{8\pi G} H_0^2 = \frac{3M_H}{4\pi R_G^3} \quad (2)$$

приводит к заключению, что хаббловский горизонт событий должен излучать тепловое излучение Хокинга с температурой

$$T = \frac{\hbar c}{4\pi R_H} = 1,37 \cdot 10^{-30} \text{ К}. \quad (3)$$

Из ОТО и квантовой теории следует [3–10], что детектор, движущийся в плоском пространстве Минковского с ускорением  $\eta$ , должен измерять в вакууме тепловой фон частиц с температурой  $T_\eta = \hbar\eta / (2\pi ck_B)$ . Это прямо вытекает из принципа эквивалентности в общей теории относительности, предложенного А. Эйнштейном. Гравитационное ускорение у горизонта черной дыры  $g$  и соответствующее тепловое излучение эквивалентны измерениям детектора, движущегося с ускорением  $\eta$  в плоском пространстве-времени:

$$g = \eta, \quad T_{BH} = T_{det}. \quad (4)$$

Однако Вселенная содержит не только гравитирующую материю, но и «темную энергию», вероятно энергию вакуума, с уравнением состояния  $\varepsilon = -p$ , т. е. обладающую отрицательным давлением.

В настоящее время «темная энергия» составляет около 73% плотности энергии Вселенной. Согласно уравнениям Фридмана, эта форма энергии антигравитирует, приводя не к замедлению, а к ускорению расширения Вселенной  $\ddot{a}_U$

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8\pi}{3}G(\rho_M + \rho_V) - \frac{k}{a^2} \quad (5)$$

$$\ddot{a}_U = -\frac{4\pi}{3}G(\rho_M + 3p_M)a + (\rho_V + 3p_V)a, \quad (6)$$

где  $a$  — масштабный фактор.

При  $p_M = 0, \rho_V = -p_V$

$$\ddot{a}_U = -\frac{4\pi G}{3}(\rho_M - 2p_V)a. \quad (7)$$

При  $a \approx R_H \approx 1,3 \cdot 10^{26}$  м,  $\Omega_M \approx 0,27, \Omega_V = 0,73, z = 0$

$$\ddot{a}_U = -\frac{4\pi}{3}G\rho_c(0,27(1+z)^3 - 2 \cdot 0,73) \cdot R_H = -\frac{4\pi}{3}G\rho_c \cdot 1,2a = 4 \cdot 10^{-10} \text{ м/с}. \quad (8)$$

Как известно, антигравитационный эффект — ускорение расширения Вселенной — был открыт в 1998–99 гг. [11, 12]. При  $z \approx 0,745$  знак ускорения расширения меняется.

Таким образом, во Вселенной в настоящее время доминирует антигравитация, и поэтому ее нельзя уподоблять черной дыре. И, если гравитационному ускорению  $g$ , которое задается массой материи, соответствует тепловой фон с температурой  $T_g = \hbar g / (2\pi c k_B)$  ( $g = -\ddot{a}_M$ ,  $T_g = -\hbar \ddot{a}_V / (2\pi c k_B)$ ), то антигравитационному ускорению, задаваемому темной энергией или вакуумом с отрицательным давлением, будет соответствовать фон с отрицательной плотностью энергии,  $-T_V = -\hbar \ddot{a}_V / (2\pi c k_B)$ . При этом плотность регистрируемой детектором энергии, соответствующая ускорению  $\ddot{a}_V$ , будет отрицательной по отношению к плотности энергии, определяемой гравитационным полем материи и излучения. Это следует из уравнения

$$\Delta \ddot{a}_V = g - 2\ddot{a}_V \quad (9)$$

$$k_B \Delta T = k_B T_g - 2k_B T_V = -1,18 k_B T_H = -k_B T_U \quad (10)$$

$$T_U = \frac{\hbar \ddot{a}_U}{2\pi c k_B} = 1,62 \cdot 10^{-30} \text{ К}. \quad (11)$$

То есть, если гравитационное ускорение, порождаемое гравитирующей материей, эквивалентно температуре вакуума и положительной плотности энергии, то антигравитационное ускорение эквивалентно излучению с отрицательной плотностью энергии для детектора, помещенного в вакуум. Это эквивалентно тепловому излучению самого детектора во Вселенной, которая расширяется с ускорением. Такое излучение означает уменьшение энтропии детектора или увеличение степени его упорядоченности. Фактически, темная энергия, или вакуум с отрицательным давлением и уравнением состояния  $\rho = -p$ , поглощает тепловое излучение детектора, движущегося с ускорением. В качестве детектора может рассматриваться любой материальный объект с соответствующими уровнями энергии. Отсюда следует, что в эпоху доминирования темной энергии, при  $S_V = const$  происходит рост упорядоченности всех структур Вселенной и уменьшение их энтропии:

$$S_U = -k_B T_U \pi \frac{R_H^2}{L_p^2} \approx -10^{122} k_B T_U = -4,7 \cdot 10^{69} \text{ Дж}, \quad (12)$$

$$\frac{\partial S_U}{\partial t} \approx \frac{S_U}{t_U} \approx -5 \cdot 10^{51} \text{ Дж/с}. \quad (13)$$

Таким образом, при  $z < 0,745$

$$\frac{\partial S_U}{\partial t} < 0. \quad (14)$$

Таким образом, вакуум является резервуаром неэнтропии, или упорядоченности, что

проявляется в период его доминирования. Поэтому вакуум может индуцировать увеличение упорядоченности структур Вселенной. Такое воздействие представляет собой **макроскопический, космологический квантовый эффект**.

Можно оценить силу, вызывающую ускорение материи в настоящее время.

$$\Delta F_{\Lambda(m)} = m_M \ddot{a}_U = 0,27 M_H \ddot{a}_U = 9,8 \cdot 10^{42} \text{ Н.} \quad (15)$$

Соответствующий поток энергии вакуума составляет

$$\Delta \dot{E}_U = \Delta F_{\Lambda(m)} \cdot \frac{R_H}{t_H} = \Delta F_{\Lambda(m)} \cdot c = 2,93 \cdot 10^{51} \text{ Дж/с.} \quad (16)$$

Таким образом, эволюция современной Вселенной в значительной степени определяется негативной энтропией, или эквивалентной информацией, задаваемой вакуумом:  $-S_U = I_U$ .

Отметим, что это объясняет тот факт, что сложные структуры, такие как живые, биологические объекты, возникли и стали развиваться после начала эпохи ускоренного расширения, или доминирования темной энергии [13]. Гипотеза о влиянии энергии вакуума на упорядоченность биологических структур была ранее предложена автором в 2002 г. [14]. Вероятно дальнейшее расширение и охлаждение Вселенной приведет к полному доминированию энергии вакуума, или темной энергии, и этот процесс будет сопровождаться появлением все более сложных и организованных структур.

### Л и т е р а т у р а :

1. *Кландор-Клайнтротхаус Г. В., Цюбер К.* Астрофизика элементарных частиц. — М.: Редакция журнала «Успехи физических наук», 2000. — 496 с.
2. *Verlinde E.* JHEP (04) 029 (2011); arXiv:1001.0785
3. *Болотин Ю. Л., Ерохин Д. А., Лемец О. А.* Расширяющаяся Вселенная: замедление или ускорение? // УФН 182 941–986 (2012)
4. *Unruh W. G.* Phys. Rev. D **14** 870 (1976)
5. *Bekenstein J. D.* Phys. Rev. D **7** 2333 (1973)
6. *Bekenstein J. D.* gr-qc/9409015
7. *Bekenstein J. D.* Phys. Rev. D **9** 3292 (1974)
8. *Bekenstein J. D.* Phys. Rev. D **49** 1912 (1994)
9. *Бирелл Н., Девис П.* Квантовые поля в искривленном пространстве-времени. — М.: Мир, 1984. — 356 с.
10. *Hawking S. W.* Commun. Math. Phys., 1975, v.43, p. 199.
11. *Permuter S. et al.* Ap.J., **517**, 565 (1999).
12. *Riess A. G. et al.* Astron.J., **116**, 1009 (1999).
13. *Bukalov A. V.* Cosmic coincidence, evolution of the Universe and generalization of the Antropic Principle // Proc. 10<sup>th</sup> Gamov Odessa Astronomical conference. — Odessa, 2010.
14. *Букалов А.В.* Количество информации в живых организмах и энергия вакуума. // Физика сознания и жизни, космология и астрофизика. — 2002. — № 2. — С. 5–9.

*Статья поступила в редакцию 20.09.2012 г.*

*Bukalov A. V.*

### **Dark energy and the Universe entropy**

Beginning of the era of dominance of dark energy, or vacuum energy, and the change in sign of acceleration of the Universe expansion leads to a change in the sign of the density of Bekenstein-Hawking radiation for an expanding universe. The dominance of dark energy leads to the emission of energy flow with negative density, which is absorbed by objects, moving in a vacuum. This effect may be due to the formation of cosmic structures, including the emergence of life phenomenon.

*Key words:* vacuum energy, dark energy, Hawking temperature, expansion of the Universe, the holographic principle.