

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_γ 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 η , 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 η 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 $T_g = \hbar g / (2\pi ck_B)$ ($g = -\ddot{a}_M$, $T_g = -\hbar \ddot{a}_V / (2\pi ck_B)$), то антигравитационному ускорению, задаваемому темной энергией или вакуумом с отрицательным давлением, будет соответствовать фон с отрицательной плотностью энергии, $-T_V = -\hbar \ddot{a}_V / (2\pi ck_B)$. 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

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

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

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

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. 10th 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.