

Букалов А.В.

ЭНТРОПИЯ МАТЕРИИ, ИЗЛУЧЕНИЯ, И ГОРИЗОНТОВ СОБЫТИЙ

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

Показано, что сравнение термодинамической энтропии как функции энергии и общей энтропии для гравитирующей системы той же массы выявляет необходимость учета пространственно-временных параметров сколлапсировавшего вещества и излучения.

Ключевые слова: термодинамика, энтропия черной дыры, горизонт событий, квантовая механика.

1. Введение

Энтропия реликтового излучения (CMBR) $S_\gamma \approx 10^{88}$ определяется количеством квантов: $S_\gamma \approx N_\gamma$. Для космологических нейтрино энтропия также близка в этой величине: $S_{\nu} \approx 10^{88}$. При количестве протонов $N_p \approx 2,6 \cdot 10^{78}$ энтропия составит $S_B \approx 10^{80}$. При этом энтропия горизонта событий составляет $S_H \approx 10^{122}$. Считается, что это максимальная достижимая энтропия для наблюдаемой Вселенной [1, 2].

Энтропия минимальной черной дыры (с массой $M = 3M_\odot$) по Хокингу–Бекенштейну составляет:

$$S_{\min} \approx 10^{77} = \frac{\pi R_g^2}{L^2}, \quad (1)$$

а для максимально возможной, с массой $M_{\max} \approx 4 \cdot 10^{10} M_\odot$

$$S_{\max} \approx 10^{97}. \quad (2)$$

Отсюда возникает парадокс, отмечаемый многими авторами, — разрыв между суммарной энтропией излучения и вещества, чёрных дыр, и общей энтропии от горизонта событий.

$$S_{\gamma, M} \ll S_{BH_{\max}}; \quad S_{\gamma, M} \ll S_H. \quad (3)$$

Этот вопрос нуждается в дополнительном исследовании.

2. Энтропия вещества и энтропия горизонта.

Прежде всего следует обратить внимание на единицы измерения энтропии. Для излучения и вещества это термодинамическая энтропия, для горизонта событий — геометрическая энтропия. Ее тоже можно выразить через термодинамическую энтропию [3]:

$$S = \frac{\pi R_g^2}{L_p^2} = \frac{M_{BH} c^2}{2k_B T}, \quad (4)$$

где $T = \hbar c / 4\pi R_g k_B$ — температура горизонта событий.

Возникает закономерный вопрос: как можно их сравнивать? Чтобы разобраться в этом вопросе, рассмотрим гипотетическую чёрную дыру, состоящую из всех барионов Вселенной, которые составляют 0,046% наблюдаемой массы Вселенной. Наблюдаемая масса Вселенной в радиусе Хаббла составит:

$$M_H = \frac{R_H c^2}{2G_N}. \quad (5)$$

Для чёрной дыры из барионов Вселенной в радиусе Хаббла:

$$M_B \approx \frac{1}{22} M_H \approx 2\pi\alpha_{em} M_H. \quad (6)$$

Соответственно,

$$R_g = R_H / 22 \approx 2\pi\alpha_{em}R_M. \quad (7)$$

Энтропия горизонта событий такой дыры составит:

$$S_{BH} \approx S_H / 22^2 \approx 4\pi^2\alpha_{em}^2 S_H \approx 10^{120}. \quad (8)$$

Чёрная дыра из реликтового излучения имела бы массу $M_\gamma \approx \alpha_{em}^2 M_H$ и гравитационный радиус $R_\gamma \approx \alpha_{em}^2 R_H \approx 7 \cdot 10^{21}$ м и соответствующую энтропию $S_{BH}(\gamma) = \alpha^4 S_H \approx 10^{-8} S_H \approx 10^{114}$. При этом

$$\frac{S_{BH}(\gamma)}{S_B} \approx \frac{4,15 \cdot 10^{119}}{10^{79}} \approx 4 \cdot 10^{40}. \quad (9)$$

$$\frac{S_H}{S_{B_{eq}}} \approx \frac{2,11 \cdot 10^{122}}{5,3 \cdot 10^{79}} \approx 4 \cdot 10^{42}, \quad (10)$$

где S_H — энтропия хаббловского горизонта, $S_{B_{eq}}$ — энтропия эквивалентного числа барионов в радиусе Хаббла.

Таким образом парадокс усугубляется, поскольку возникает явный разрыв между термодинамической энтропией одного и того же количества квантов материи и излучения в сравнении с их энтропией как гравитационно-связанной системы, то есть гравитационной энтропией, возникающей естественным образом при условии гравитационного взаимодействия этих объектов в ограниченном объеме. Это означает, что термодинамическая энтропия коллапсирующей материи в виде квантов и частиц не описывает всю возможную энтропию в отличие от гравитационной, что связано с неучётом пространственных и временных степеней свобод элементарных частиц. Действительно, в квантовой механике существует равноправное описание в импульсном и координатном представлениях. При этом известный принцип неопределенности В. Гейзенберга

$$\begin{aligned} \Delta p \Delta x &\geq \hbar / 2, \\ \Delta E \Delta t &\geq \hbar / 2 \end{aligned} \quad (11)$$

показывает дополненность энерго-импульсного и пространственно-временного описания квантовых объектов. Поэтому максимальную информацию о квантовом объекте содержит фазовое пространство, объем которого выражается в количестве планковских квантов действия \hbar . При этом энтропия горизонта чёрной дыры (или горизонта событий Вселенной) может быть выражена в планковских единицах действия [4]:

$$S = \frac{\pi R_H^2}{L_p^2} = \pi \frac{G_N (2M)^2}{G_N M_p^2} = \frac{S_h}{\hbar}. \quad (12)$$

Сравнение термодинамической энтропии как функции энергии и общей энтропии для гравитирующей системы той же массы выявляет необходимость учета пространственно-временных параметров — количество волн де Бройля определенного сорта элементарных частиц, укладывающихся в гравитационный радиус этой системы, т.е. $R_H = N_2 \cdot \lambda_x$ [5]:

$$S_{BH} = \frac{2\pi G_N M \cdot R_H}{c^2 L_p^2} = \frac{2\pi G_N M}{c^2 L_p^2} N_1 m_p N_2 \lambda_x = \frac{2N_1 m_p N_2 \lambda_x}{\hbar} = \frac{S_h}{\hbar}. \quad (13)$$

Таким образом, соотношение гравитационного радиуса системы и длины волны рассматриваемых квантов дает пространственную компоненту энтропии (или информации), в соответствии с принципом дополненности Бора и квантовой механики в целом.

$$S_h = E \cdot t = p \cdot x = S(\epsilon, p) \cdot S(x, t) = \ln W_{\epsilon, p} \cdot \ln W_{x, t} = \ln W_h. \quad (14)$$

3. Выводы

Очевидно, что в предложенном описании пространственно-временные степени свободы обладают своей особой информацией/энтропией. Поэтому к ним применимы принципы, аналогичные принципам термодинамики, если рассматривать теорию пространственно-временных квантов, аналогично теории энергетических квантов материи и излучения. Это приводит к дуальной физике, в том числе — дуальной квантовой механике, в которой волновые, пространственно-временные и энерго-импульсные характеристики меняются местами [5].

Л и т е р а т у р а :

1. Egan C.A., Lineweaver C.H. A Larger Estimate of the Entropy of the Universe // *Astrophys. J.* **710**, 1825 (2010). — [arXiv:0909.3983](https://arxiv.org/abs/0909.3983) [astro-ph.CO].
2. Gibbons G. W., Hawking S.W. *Phys. Rev. D*, **15**, 2738 (1977).
3. Букалов А.В. О двойственности информации и энтропии космических горизонтов и горизонтов чёрных дыр // *Физика сознания и жизни, космология и астрофизика.* — 2015. — № 1. — С. 25–28.
4. Букалов А.В. Действие, фаза, энтропия и информация космических горизонтов и закон сохранения информации в черных дырах // *Физика сознания и жизни, космология и астрофизика.* — 2015. — № 2. — С. 27–28.
5. Букалов А.В. О дуальной квантовой механике // *Физика сознания и жизни, космология и астрофизика.* — 2015. — № 2. — С. 29–32.

Статья поступила в редакцию 20 ноября 2016 г.

Bukalov A.V.

Entropy and information of matter and radiation in the Universe

It is shown that the comparison of thermodynamic entropy as a function of energy and general entropy for a gravitating system of the same mass reveals the need for taking into account the space-time parameters of the collapsed matter and radiation.

Keywords: thermodynamics, black hole entropy, event horizon, quantum mechanics.