

Букалов А.В.

ЭНТРОПИЯ ЧЕРНЫХ ДЫР И ИНФОРМАЦИЯ ВО ВСЕЛЕННОЙ

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

Показано, что энтропия, как горизонта черной дыры, так и космологического горизонта, представляет собой квантованное действие, а единицей квантования является, как и в квантовой механике, постоянная Планка \hbar . Такой подход дает возможность записать волновую функцию и волновое уравнение для черной дыры. Это также дает возможность сравнить энтропию черной дыры и наблюдаемый момент импульса различных космических объектов: нейтронных звезд, планетарных систем, галактик в единицах планковского действия \hbar , или элементарного спина — квантового бита $\hbar/2$, как количества информации в Галактике и Вселенной в целом. Тогда энтропия черной дыры в единицах действия незначительна по сравнению с информацией, представленной моментом импульса и спином космических тел: нейтронных звезд, планетарных систем и галактик. Поэтому количество этой информации, связанной с вращательным движением космических объектов во Вселенной, на много порядков превышает суммарное количество энтропии сверхмассивных черных дыр.

Ключевые слова: черная дыра, энтропия, информация, момент импульса, спин, постоянная Планка.

Введение

Как известно, энтропия черной дыры по Бекенштейну-Хокингу определяется площадью горизонта событий черной дыры:

$$S_{BH} = \frac{A}{4L_p^2} = \frac{\pi R_g^2}{L_p^2} \quad (1)$$

где R_g — гравитационный радиус, L_p — планковская длина.

Энтропия чёрной дыры с массой, равной трем массам Солнца, составляет $S_{BH} \approx 10^{78}$; энтропия сверхмассивной черной дыры с $M_{BH} \approx 10^{10} M_\odot$ составляет $S_{BH} \approx 10^{98}$. Суммарная энтропия черных дыр в наблюдаемой Вселенной составляет $S_{BH} \approx 10^{104}$, что намного превышает энтропию реликтового излучения $S \approx 10^{88}$. Поэтому, как считают некоторые авторы [1], эта энтропия черных дыр и вносит максимальный вклад в энтропию космических объектов Вселенной, за исключением энтропии, приписываемой Хаббловскому горизонту ($S_H \approx 10^{122}$). Однако черные дыры составляют только небольшую часть массы материальных объектов Вселенной, а потому их преобладающий вклад в энтропию Вселенной выглядит парадоксальным.

Поэтому необходимо исследовать некоторые аспекты определения энтропии по Бекенштейну-Хокингу.

Новый взгляд на энтропию черных дыр

Преобразуем формулу (1):

$$S_{BH} = \frac{\pi R_g^2}{L_p^2} = \frac{4\pi G_N M_{BH}^2}{\hbar} = \frac{S(\hbar)}{\hbar}, \quad (2)$$

где $S(\hbar)$ — действие, соответствующее площади черной дыры. То же справедливо и для космологических горизонтов: $S_{Hor} = S_1(\hbar)$ и $S_\Lambda(\hbar) = I_\Lambda = S_2(\hbar)$ и $|I_\Lambda| \gg |S_{Hor}|$, но это тема отдельной статьи [2, 3].

Заметим, что для черной дыры с планковской массой m_p энтропия $S_0 = 4\pi$, для черной дыры с массой $M = n \cdot m_p$ ($n = 1, 2, \dots$)

$$S_{BH} = 4\pi n^2 = 4\pi N . \quad (3)$$

Понятие энтропии черной дыры является геометрическим по определению, и оно существенно отличается от обычной энтропии, например — оно не аддитивно.

Из (3) следует, что энтропия черной дыры — это не что иное, как фаза φ , поскольку она равна отношению действия черной дыры к постоянной Планка $\varphi = S(\hbar) / \hbar$ или :

$$S_{BH} = N\varphi_0 = 4\pi N . \quad (4)$$

Это дает возможность записать волновую функцию черной дыры в виде

$$\Psi_{BH} = \Psi_0 e^{-i\frac{S_{BH}}{\hbar}} = \Psi_0 e^{-i\frac{8\pi c T_g M_{BH} c^3}{4c^2 \hbar}} = \Psi_0 e^{-i\frac{2\pi T_g M_{BH} c^2}{\hbar}} = \Psi_0 e^{-i\frac{2\pi T_g E_{BH}}{\hbar}} = \Psi_0 e^{-i\frac{4\pi E_{BH}^2}{\hbar}} = \Psi_0 e^{-i\frac{\pi T_g^2}{\hbar}} \quad (5)$$

откуда можно получить уравнение Шредингера для черной дыры:

$$\frac{i\hbar}{4\pi} \frac{\partial \Psi_{BH}}{\partial T_g} = E_{BH} \Psi ,$$

а вторая производная

$$\frac{i\hbar}{4\pi} \frac{d^2 \Psi_{BH}}{dT_g^2} = \frac{c^5}{2G_N} \Psi_{BH}$$

дает планковскую мощность $W_p = \frac{m_p c^2}{2t_p} = \frac{c^5}{2G_N}$, или мощность коллапса любой черной дыры,

которая является постоянной [4].

Дифференцирование по энергии дает

$$i\hbar \frac{d \Psi_{BH}}{dE} = 2\pi T_g \Psi_{BH} ,$$

$$\frac{i\hbar}{4\pi} \frac{d^2 \Psi_{BH}}{dE^2} = \frac{2G_N}{c^5} \Psi_{BH} .$$

Известно, что в случае вращения заряженной черной дыры поверхность горизонта, а, следовательно, и энтропия черной дыры, еще более эффективно уменьшается [4]:

$$A = 4\pi \left(2M^2 - Q^2 + 2M \sqrt{M^2 - Q^2 - J^2 / M^2} \right) . \quad (6)$$

Это свидетельствует, что энтропия вращающейся, а также заряженной, черной дыры меньше, чем энтропия стационарной черной дыры. Следовательно, момент импульса и заряд дают вклад с отрицательной энтропией — неэнтропией, то есть информационный вклад в общую энтропию черной дыры:

$$S_{BH} = S_0 - \Delta S(J, Q) = S_0 + \Delta I(J, Q) . \quad (7)$$

Поскольку площадь черной дыры выражает ее энтропию и равна действию, возникает вопрос о сопоставлении информационных единиц действия и величин момента импульса других физических, космических объектов. Момент импульса $\vec{L} = \vec{p} \times \vec{r}$ имеет размерность действия и может быть в квантовом случае выражен через единицы постоянной Планка: $(\hat{L})^2 Y_{em}(\theta, \varphi) = l(l+1)Y(\theta, \varphi)$, $\hat{L}_z = m\hbar Y_{em}(\theta, \varphi)$ $L = m\hbar$ ($m = 0, 1, 2, \dots$). При этом мы можем сопоставить любому моменту импульса вращающегося физического тела эквивалентное количество информации в единицах действия: $I = L / \hbar$. Тогда энтропия черной дыры становится частью общего баланса действия физических, космических объектов во Вселенной:

$$S_U(\hbar) = S + I = \sum S_{BH} + \sum I_L , \quad (8)$$

выраженного в фундаментальных единицах планковской постоянной как объективных и фундаментальных единицах действия, лежащих в основе квантовой структуры мира.

Рассмотрим теперь момент импульса типичной нейтронной звезды.

$$L_{NS} = \frac{2}{5} M v r \approx \frac{2}{5} \cdot 2,6 \cdot 10^{30} \text{ кг} \cdot 3 \cdot 10^7 \text{ м/с} \cdot 1,5 \cdot 10^4 \text{ м} \approx 4,68 \cdot 10^{75} \hbar = 9,36 \cdot 10^{76} \frac{\hbar}{2} .$$

Момент импульса экстремально вращающейся черной дыры с массой $3M_\odot$

$$L_{BH} \approx \frac{2}{5} \cdot 3 \cdot 2 \cdot 10^{30} \text{ кг} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} \cdot 9 \cdot 10^3 \text{ м} \approx \frac{2}{5} \cdot 9 \cdot 10^{77} \hbar = 6,15 \cdot 10^{76} \hbar = 1,23 \cdot 10^{77} \frac{\hbar}{2}.$$

а с приведенной (для удобства сравнения) массой $M_{BH} = M_{\odot}$ $L_{BH} \approx 6,83 \cdot 10^{75} \hbar = 1,37 \cdot 10^{76} \hbar / 2$, что ниже энтропии черной дыры $S_{BH} = 1,047 \cdot 10^{77}$.

При этом момент импульса планетарной системы, например Солнечной, больше, чем энтропия черной дыры, которая образовалась бы (гипотетически) из звезды. Например, для Солнечной системы $\sum L_{планет} / \hbar \approx 3 \cdot 10^{77}$, а энтропия черной дыры $S \approx 10^{77}$, то есть момент импульса системы в три раза выше эквивалентной величины для черной дыры. Поэтому энтропия черной дыры, в случае ее образования, составила бы только меньшую часть общего количества информации, выраженной в планковских единицах действия \hbar или в единицах элементарного спина $s = \hbar / 2$.

Для галактики Млечный путь момент импульса при скорости ее обращения 220 км/с составит $I_{Gal} = L_{Gal} / \hbar \approx 10^{103}$, а энтропия черной дыры в центре Галактики с $M_{BH} \approx 4 \cdot 10^6 M_{\odot}$ составляет $S \approx 10^{90}$. Таким образом только информационный эквивалент момента импульса Галактики на 13 порядков превышает энтропию черной дыры. В случае сверхмассивной черной дыры с $M \approx 10^{10} M_{\odot}$ ее энтропия $S_{BH} \approx 10^{97}$ на шесть порядков ниже информационного эквивалента галактического момента импульса, поэтому

$$|I_{Gal}| \gg |S_{BH}|. \tag{9}$$

Сумма моментов импульса вращающихся 10^{10} галактик в наблюдаемой области Вселенной — в радиусе Хаббла дает $I \approx 10^{10} \cdot 10^{103} \approx 10^{113}$ бит в планковских единицах, что на 10 порядков превышает суммарную энтропию черных дыр $\sum S_{BH} \approx 10^{103}$.

Суммарный момент импульса 10^{20} звездных систем в радиусе Хаббла дает $I \approx 10^{97,5}$, что близко к энтропии черной дыры максимально возможной массы. Кроме того, информационный эквивалент момента импульса одной типичной галактики близок к суммарной энтропии всех черных дыр. Возможно, это не просто совпадение.

Таким образом, черные дыры не вносят значимый вклад в общий баланс энтропии и информации Вселенной по сравнению с вращающимися галактиками и звездами, суммарный момент импульса которых определяет значительно преобладающий информационный вклад в наблюдаемую Вселенную в планковских единицах действия. Это согласуется и со здравым физическим смыслом. В противном случае Вселенная не была бы информационно наблюдаемой.

На фоне общего объема информации космических объектов, выраженной в единицах планковского действия, энтропия черных дыр ничтожно мала:

$$|S_{BH}| \ll |I_{Gal}|, \tag{10}$$

а потому

$$S_{BH} + I_{Gal} \approx I_{Gal}. \tag{11}$$

Таким образом, в наблюдаемой Вселенной доминирует, как и следовало бы ожидать, информационная упорядоченность, выражаемая в динамике вращения галактик и звезд, а не энтропия, деструкция и хаос на горизонтах событий черных дыр.

Выводы

1. Определение энтропии черной дыры по Бекенштейну-Хокингу эквивалентно действию, или фазе, что позволяет записать волновое уравнение для черной дыры.
2. Вычисление энтропии черной дыры в единицах планковского действия дает возможность сопоставить ее с величиной момента импульса физических космических объектов как информационной величиной, выраженной в тех же единицах.
3. Момент импульса галактик в планковских единицах значительно, на много порядков превышает энтропию галактических черных дыр, что означает превышение информационной упорядоченности галактических систем Вселенной над гравитационной энтропией черных дыр.

Таким образом, информационное содержание наблюдаемой Вселенной значительно преобладает над ее энтропийной составляющей, а космические вращающиеся объекты вносят упорядочивающий информационный вклад в эволюцию Вселенной в целом.

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. Букалов А.В. Уменьшение энтропии потоков галактик и энтропии Вселенной в целом при доминировании темной энергии // *Физика сознания и жизни, космология и астрофизика.* — 2013. — № 3. — С. 5–9.
3. Букалов А.В. Антиэнтропийное упорядочивающее действие Хаббловского потока на «газ галактик» // 14-я Междунар. Гамовская летняя астрономическая школа-конференция 18-21 августа 2014 г. — Одесса, 2014.
4. Букалов А.В. О предельной наблюдаемой мощности астрофизических процессов // *Физика сознания и жизни, космология и астрофизика.* — 2006. — № 4. — С. 50–52.
5. Новиков И.Д., Фролов В.П. *Физика черных дыр.* — М., Наука, 1986. — 328 с.

Статья поступила в редакцию 10.12.2013 г.

Bukalov A.V.

The entropy of black holes and the information in the Universe

It is shown that the entropy as the horizon of the black hole as well as the cosmological horizon is a quantized action, and Planck's constant \hbar is, as in quantum mechanics, quantization unit. This approach makes possible to record the wave function and the wave equation for a black hole. It also gives the opportunity to compare the entropy of a black hole and the observed angular momentum of various space objects: neutron stars, planetary systems, galaxies in units of Planck action \hbar , or elementary spin - a quantum bit $\hbar/2$, as the amount of information in the galaxy and in the Universe as a whole. Then the entropy of a black hole in units of action is minor compared to the information provided by the angular momentum and spin of cosmic bodies, neutron stars, planetary systems and galaxies. Therefore, the amount of information associated with the rotational motion of space objects in the Universe is many orders greater than the total amount of entropy supermassive black holes.

Key words: black hole entropy, information, angular momentum, spin, and the Planck constant.