Гравитация и космология

УДК 523.11:524.827:539.12:524.854:530.11

Букалов А.В.

О ДВОЙСТВЕННОСТИ ИНФОРМАЦИИ И ЭНТРОПИИ КОСМИЧЕСКИХ ГОРИЗОНТОВ И ГОРИЗОНТОВ ЧЁРНЫХ ДЫР

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

На горизонте событий чёрной дыры или космическом горизонте с радиусом Хаббла количество энтропии совпадает с количеством информационных ячеек в планковских единицах действия. Из этого следует относительность определения информации или энтропии для наблюдателей, находящихся внутри или снаружи горизонта. Введена волновая функция и уравнение Шредингера для горизонта событий. С использованием стандартного распределения Гиббса рассмотрена термодинамика горизонта чёрной дыры. Показано, что энтропия чёрных дыр вносит малый вклад в информационное содержание Вселенной.

Ключевые слова: чёрная дыра, радиус Хаббла, энтропия чёрной дыры, информация, космический горизонт, волновая функция, распределение Гиббса, термодинамика.

В предыдущем сообщении [1] нами было показано, что энтропия чёрной дыры с массой M_{BH} эквивалентна действию

$$S_{BH}=\frac{\pi R_g^2}{L_P^2}=\frac{4\pi M_{BH}^2}{M_P^2}=\frac{4\pi G_N M_{BH}^2}{G_N M_P^2}=\frac{4\pi S_\hbar}{\hbar}, \tag{1}$$

где L_P и M_P — планковские длина и масса.

Таким образом, на горизонтах событий чёрной дыры и космических горизонтах Хаббла количество информационных ячеек действия в планковских единицах совпадает с количеством энтропии в единицах Больцмана:

$$\frac{S_\hbar}{\hbar}=\frac{E_{BH}}{k_B T_{BH}}=N_\hbar=N_{kT}=\varphi\,. \tag{2}$$

При этом, учитывая, что $k_B T_{BH}=\hbar c/4\pi R_g$, можно записать энтропию чёрной дыры в обычном термодинамическом виде:

$$S=\frac{E_{BH}}{k_B T_{BH}}=\frac{2\pi G_N M_{BH}\cdot 2G_N M_{BH}c^3}{G_N\hbar c^4}=\frac{M_{BH}\cdot R_g}{2\pi\hbar c}=\frac{M_{BH}\cdot c^2}{2k_B T_{BH}}\,. \tag{3}$$

Это можно интерпретировать как двойственность и относительность информации и энтропии горизонтов в зависимости от системы отсчёта наблюдателя. Для внешнего наблюдателя, вне чёрной дыры, горизонт определяет количество энтропии $S=\pi R_g^2/c^2=E/k_B T$. Тогда для внутреннего наблюдателя горизонт чёрной дыры содержит эквивалентную информацию $I=S_\hbar/\hbar=\varphi$ в виде действия или квантомеханической фазы.

Действительно, вся информация, падающая в чёрную дыру, исчезает для внешнего наблюдателя, но появляется для наблюдателя внутреннего, для которого горизонт чёрной дыры является источником информации. Так, например, в процессе излучения, описанного Хокингом, чёрная дыра излучает вовне частицу и поглощает античастицу. Наличие фазы указывает на когерентность состояний горизонта, то есть чёрная дыра для внутреннего наблюдателя является упорядоченной когерентной структурой. Такое описание чёрной дыры следует и из космологической модели со сверхпроводимостью [2], предложенной автором. Поэтому для горизонта чёрной дыры с $R=R_g$, а также для аналогичного Хаббловского горизонта с $R=R_H$ можно записать волновую функцию

$$\psi=\psi_0 e^{-iS_\hbar/\hbar}=\psi_0 e^{i\varphi}=e^{-4\pi i M_{BH}^2/M_r^2}=e^{-iM_{BH}c^2/2k_B T} \tag{4}$$

и соответствующие уравнения Шредингера:

$$iM_P^2 \frac{\partial\psi}{\partial M_{BH}} = 8\pi M_{BH}\psi \tag{5}$$

$$iL_P^2 \frac{\partial\psi}{\partial R_g} = 2\pi R_g\psi = \frac{\hbar c}{2k_B T_{BH}}\psi \tag{6}$$

$$i\frac{L_P^2}{G_N}\frac{\partial\psi}{\partial M_{BH}} = 4\pi R_g\psi \tag{7}$$

$$i\frac{\hbar}{c}\frac{\partial\psi}{\partial M_{BH}} = 4\pi R_g\psi \tag{8}$$

$$i\frac{G_N k_B}{c^4}\frac{\partial\psi}{\partial R_g} = \frac{1}{2T_{BH}}\psi \tag{9}$$

Эти уравнения для наблюдателя внутри чёрной дыры. Однако, поскольку показатель степени в выражении $e^{-S_h/\hbar} = e^{-E_n/k_B T}$ действительный, то это означает, что речь идет о движении в области потенциального барьера. Границей этого барьера для внутреннего наблюдателя естественным образом является горизонт событий.

В применении к космическим хаббловским горизонтам это означает, что Вселенная внутри упорядоченного космического горизонта также упорядочена для наблюдателя, находящегося в ней, и неупорядочена для внешнего наблюдателя. При этом когерентности и упорядоченность причинного хаббловского горизонта определяется длиной корреляции первичных фермионов, формирующих пространственно-временную причинную область согласно космологической модели со сверхпроводимостью [3]. Относительность и двойственность информации и энтропии означает также относительность и двойственность понятия вероятности и случайности, на котором основывается статистическая физика и квантовая механика. Вероятно всегда может быть указана система отсчета, в которой случайный процесс описывается как детерминированный.

Переходя для космического хаббловского горизонта к хаббловскому времени, получаем оператор космологического времени

$$\frac{i}{4\pi}\frac{\hbar}{c^2}\frac{\partial\psi}{\partial M_H} = \hat{T}_H\psi\,, \tag{10}$$

который является и оператором необратимого фазового перехода — конденсации первичных фермионов в сверхтекучее когерентное состояние:

$$T_H = 8\pi t_P e^{\alpha_j^{-1}}\,. \tag{11}$$

Собственные функции операторов $\hat{R}_H = c\hat{T}_H$ дают наблюдаемые пространственно-временные интервалы в наблюдаемой Вселенной.

Рассмотрим теперь некоторые аспекты энтропии причинного горизонта. Энтропия тела в статистической физике определяется стандартным образом как среднее значение логарифма его функции распределения:

$$S = -\langle \ln w_n \rangle\,. \tag{12}$$

Учитывая распределение Гиббса: $w_n = Ae^{-E_k/k_B T}$, получим $S = -\ln A + \bar{E}/T$, $\ln A = \bar{E} - TS/T$, где $\bar{E}$ — средняя энергия тела, поэтому $\bar{E} - TS = F$, $\ln A = F/T$.

Таким образом, нормировочная постоянная связана со свободной энергией тела [4], и распределение Гиббса записывается в виде:

$$w_n = e^{\frac{F-E_n}{k_B T}}\,. \tag{13}$$

Применяя эти термодинамические рассуждения для чёрной дыры (или космического горизонта) получаем:

$$S_{BH} = -\ln\langle w_n \rangle = -\frac{M_{BH}c^2}{2k_B T} + \frac{M_{BH}c^2}{k_B T} = \frac{M_{BH}c^2}{2k_B T}\,, \tag{14}$$

где $\ln A = F / T = M_{BH}c^2 / 2k_BT$.

Это объясняет, почему энтропия чёрной дыры имеет коэффициент ½ — из-за наличия свободной энергии чёрной дыры F .

При этом условие нормировки для распределения w_n стандартно:

$$\sum w_n = e^{F/k_BT} \ln \sum_n e^{-E_n/k_BT} \tag{15}$$

$$F = -T \ln \sum_n e^{-E_H/k_BT} = -T \ln z = -TSp\left(e^{-\hat{H}/k_BT}\right) \tag{16}$$

Для вращающегося тела — вращающейся чёрной дыры —

$$w_n = e^{(\hat{F}-\hat{H}-\omega L)/k_BT}, \tag{17}$$

где ω — угловая скорость вращения, L — момент импульса тела.

Распределение Гиббса с переменным числом N частиц записывается как

$$w_{nN} = e^{(\Omega+\mu N-E_{nN})/k_BT} \tag{18}$$

так как

$$S = -\langle \ln w_n \rangle = -\ln A - \frac{\mu N}{T} + \frac{\bar{E}}{T} \tag{19}$$

$$T \ln A = \bar{E} - TS - \mu N, \tag{20}$$

где Ω — термодинамический потенциал, μ — химический потенциал [4].

Учитывая, что

$$\frac{E}{k_BT} = \frac{S_\hbar}{\hbar} = \frac{\pi R^2}{L^2}, \tag{21}$$

$$w_n = e^{\frac{M_{BH}\cdot c^2}{k_BT} - \frac{M_{BH}\cdot c^2}{2k_BT} - \frac{\omega L}{k_BT}} = e^{\frac{S_\hbar}{\hbar} - \frac{\omega L}{k_BT}} \tag{22}$$

$$S_{BH} = \frac{S_\hbar}{\hbar} - \frac{\omega L}{k_BT}. \tag{23}$$

Рассматривая совокупность вращающихся космических тел — галактик, звезд, чёрных дыр — мы получаем оценку энтропии для галактик, скоплений галактик и чёрных дыр, где момент импульса $\bar{L}$ в единицах действия намного превышает энтропию чёрных дыр [1]:

$$\sum \frac{\bar{L}}{\hbar} \gg \sum \frac{M}{2k_BT}. \tag{24}$$

Поэтому суммарная энтропия, связанная с чёрными дырами и моментами импульса вращающихся космических тел, звёзд и галактик, отрицательна:

$$S \approx -\sum \frac{\omega L}{kT} = I. \tag{25}$$

Это означает, что во Вселенной на уровне звездных систем и галактик доминирует не энтропия чёрных дыр, а информационная упорядоченность, связанная с наличием вращения и соответствующего момента импульса звёзд и галактик.

$$\sum S = -I. \tag{26}$$

Учитывая, что для наблюдателя внутри причинного хаббловского горизонта энтропия горизонта также отрицательна, то есть это — информация, мы приходим к выводу, что информационное содержание наблюдаемой вселенной преобладает над энтропийным и растет пропорционально площади сферы Хаббла.

Выводы:

1) Обнаружена двойственность и относительность энтропии и информации горизонта чёрной дыры и горизонта Хаббла в различных системах отсчёта (внешней или внутренней), связанных с наблюдателем.
2) Описанная двойственность приводит к ряду важных следствий ввиду двойственности термодинамического и квантового описания чёрных дыр и Вселенной.

3) Энтропия чёрных дыр вносит малый вклад в общую информацию (действие) вращающихся космических объектов.
4) Информационное содержание внутри причинного радиуса Хаббла доминирует над энтропией и возрастает пропорционально площади сферы Хаббла.

Литература:

1. *Букалов А.В.* Энтропия черных дыр и информация во Вселенной // Физика сознания и жизни, космология и астрофизика. — 2014. — № 2. — С. 6–9.
2. *Букалов А.В.* Решение проблемы темной энергии и энергии вакуума в космологической модели со сверхпроводимостью // Физика сознания и жизни, космология и астрофизика. — 2014. — № 1. — С. 5–14.
3. *Букалов А.В.* Квантовые свойства причинных горизонтов Вселенной и распад (таяние) черных дыр в космологической модели со сверхпроводимостью // Физика сознания и жизни, космология и астрофизика. — 2014. — № 4. — С. 24–27.
4. *Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П.* Статистическая физика. Часть 2. — М.: Наука, 1978. — 448 с.

Статья поступила в редакцию 01.03.2015 г.

Bukalov A.V.

On the duality of information and entropy of cosmic horizons and horizons of black holes

At the event horizon of a black hole or cosmic horizon with the Hubble radius amount of entropy coincides with the number of information cells in Planck units of action. It follows a relativity of definition of information or entropy for observers located inside or outside the horizon. It is introduced the wave function of the event horizon. It is proposed the Schrodinger equation for the event horizon. Using a standard distribution Gibbs it is considered the thermodynamics of black hole horizon. It is shown that the entropy of black holes makes a small contribution to the information content of the Universe.

Keywords: black hole, Hubble radius, entropy of black hole, information, space horizon, wave function, Gibbs distribution, thermodynamics.