

Букалов А.В.

О ВОЗМОЖНОМ ЭФФЕКТЕ БЫСТРОГО ИСЧЕЗНОВЕНИЯ или «ТАЯНИЯ» ЧЕРНЫХ ДЫР

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

Показано, что в радиационно-доминантной Вселенной черные дыры начинают быстро испаряться («таять») при условии превышения плотности излучения и плазмы над средней плотностью черной дыры: $\rho_r > \rho_{BH}$. Этот процесс происходит гораздо быстрее, чем процесс испарения черных дыр, по С. Хокингу. Такой режим, например, может быть реализован в сжимающейся Вселенной. Поэтому сжатие Вселенной не может привести к ее коллапсу в черную дыру, а тензор конформной кривизны Вейля равен нулю в начале и в конце расширения Вселенной. Тот же результат получается при квантовом подходе к описанию выравнивания температуры черной дыры и Хаббловского горизонта Вселенной. Показано, что под воздействием релятивистской плазмы в сжимающейся Вселенной или под воздействием частиц высокой энергии джетов активных ядер галактик могут разрушаться и нейтронные звезды.

Ключевые слова: сжатие Вселенной, реликтовое излучение, тензор Вейля, гравитационный коллапс, исчезновение черных дыр, разрушение нейтронных звезд.

1. Некоторые парадоксы

Как показывают наблюдения, эволюция современной Вселенной, начиная с Большого Взрыва, хорошо описывается уравнениями Фридмана. При этом, как отмечал Р. Пенроуз [1], уже начальное состояние Вселенной характеризуется равенством тензора конформной кривизны Вейля нулю:

$$C_{abcd} = 0 \quad (1)$$

Более того, наблюдения подтверждают, что Вселенная — плоская.

Таким образом, при усреднении на макроскопических, космологических масштабах, описание изотропными уравнениями Фридмана вполне корректно. Более того, такое описание оказывается корректным и для ранней Вселенной, что вызывает затруднения [2] в понимании начального состояния Вселенной. Гравитационный коллапс локальных сгущений материи, в том числе приводящий к образованию черных дыр, этими уравнениями не описывается. Кривизна Вейля связана, в том числе, с гравитационным сгущением материи и обращается в бесконечность на сингулярности. При этом, однако, ряд авторов [2, 11] полагает, что в случае замкнутой Вселенной, описываемом теми же уравнениями Фридмана при $k = 1$,

$$\begin{aligned} \left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 &= \frac{8\pi}{3}(\rho_M + \rho_r) + \frac{\Lambda}{3} - \frac{k}{a^2} \\ \frac{\ddot{a}}{a} &= -\frac{4\pi}{3}(\rho + 3p) + \frac{\Lambda}{3} \end{aligned} \quad (2)$$

Вселенная должна сжиматься, что влечет за собой слияние галактик и сверхскоплений и появление скоплений гигантских черных дыр, которые в конце концов сливаются между собой. Предполагается, что в результате такого процесса Вселенная коллапсирует в гигантскую черную дыру с образованием глобальной сингулярности и гигантским ростом энтропии, составляющей 10^{40} на барион. Такая сингулярность и высокая энтропия связаны с большой кривизной Вейля, в контрасте с высокосимметричными моделями Фридмана [1, 2]. При этом, кажется, никто не обратил внимания на парадокс, заключающийся в том, что описание сжатия Вселенной согласно уравнениям Фридмана, также связано с равенством нулю тензора Вейля, а, следовательно, конечное состояние сжавшейся Вселенной также требует выполнения условия (1), что

означает невозможность гравитационного коллапса Вселенной в черную дыру, поскольку кривизна Вейля у сингулярности будет стремиться к бесконечности и превосходить кривизну Риччи [1].

Таким образом, выводы ряда авторов [11] о гравитационном коллапсе Вселенной являются как минимум дополнительной гипотезой, никак не следующей из уравнений Фридмана, поскольку Вселенная в целом не является барионным объектом типа звезды или галактики. Такая аналогия может быть ошибочной, если учесть, что Вселенная, в отличие от коллапсирующих астрофизических объектов, на 70% состоит из темной энергии и на 25% — из темной материи, 5% — барионной и лептонной, а также содержит $N_r = 4 \cdot 10^{87}$ квантов реликтового излучения, которое быстро станет горячим при сжатии Вселенной. Выявленное противоречие порождает парадокс, который должен иметь решение. Это может означать, что должен существовать механизм, обеспечивающий прекращение действие механизма гравитационного коллапса, роста черных дыр и их исчезновения по мере сжатия Вселенной как целого. Этого требует выполнение уравнений Фридмана — в случае сжатия или осцилляции замкнутая Вселенная должна вернуться с состояние, близкое исходному, без коллапса в черную дыру и без образования глобальной сингулярности.

Заметим, что процесс можно рассматривать безотносительно к доминированию темной энергии в современную эпоху: в рамках уравнений Фридмана физическое сжатие современной Вселенной может быть реализовано, например, в случае распада современного вакуума в тяготеющее вещество и излучение или слияния нашей Вселенной с соседней, что приведет к остановке расширения Вселенной и ее последующему сжатию.

2. Возможность уменьшения и исчезновения черных дыр в горячей Вселенной

Каким же может быть механизм предотвращения глобального коллапса в черную дыру и прекращения роста уже образовавшихся черных дыр, с их последующим исчезновением в сжимающейся Вселенной?

Испарение черных дыр, по С. Хокингу, — это очень длительный процесс. Для черной дыры с массой в три массы Солнца $t \approx 10^{56} t_H$. Однако можно указать и более быстрый естественный процесс. Черная дыра растет при аккреции вещества на горизонт событий. Однако существует предел скорости аккреции материи и энергии на черную дыру. Он определяется максимальной мощностью коллапса и представляет собой постоянную величину, совпадающую с планковской мощностью с точностью до численного коэффициента [7]:

$$W_{\max} = \frac{M_{BH} c^2}{t_g} = \frac{c^5}{2G_N} = \left| \frac{m_P}{2t_P} \right| \approx 3,6 \cdot 10^{52} \text{ Дж/с} \quad (3)$$

Тогда для черной дыры с определенной массой M_{BH} и с гравитационным радиусом $r_g = 2G_N M_{BH} / c^2$ поток энергии через поверхность горизонта составляет:

$$Z = \frac{M_{BH} c^2}{4\pi R_g^2 t_g} = \frac{c^3}{8\pi G_N R_g^2}.$$

При релятивистской скорости коллапса $v = c$ на горизонте событий плотность энергии составляет треть от плотности черной дыры:

$$\rho_{BH} = \frac{3}{8\pi G_N t_g^2} = \frac{3Z}{c^2}.$$

Максимальный поток энергии эквивалентен плотности, $Z_{\max} = \frac{3c^3}{8\pi G_N R_g^2} = c\rho_{BH}$.

Что же произойдет, если поток энергии на горизонте превысит предел (3)? Очевидно, что рост черной дыры остановится. Далее гравитационный радиус черной дыры начнет уменьшаться, чтобы соответствовать плотности внешней энергии. А это означает уменьшение, то есть испарение или «таяние» черной дыры при ее релятивистском нагреве.

Введем среднегеометрическую температуру черной дыры: $T_{BH}^* \approx \sqrt{T_P \cdot T_{BH}}$. Такая среднегеометрическая температура возникает как результат обратимого обмена энергией между

двумя телами с разной температурой [8] (численные коэффициенты опущены). В случае черной дыры мы можем рассматривать T_{BH}^* как следствие обмена энергией между горизонтом событий с температурой Хокинга T_{BH} и максимально достижимой в черной дыре планковской температурой T_p в околосингулярной области. Тогда среднегеометрическая температура определяется плотностью черной дыры, которая также может быть выражена через плотность среднегеометрической энергии $E_{BH} = \sqrt{E_p \hbar c} / R_g$:

$$\rho_{BH} = \sigma g_1^* T_{BH}^{*4} = \frac{3E_{BH}^4}{4\pi} = \frac{3c^2}{8\pi G_N R_g^2}.$$

Такая температура была введена нами ранее при описании ядра Галактики [9].

При обратимом обмене энергией между черной дырой и релятивистской плазмой с температурой T_r температура T , к которой стремится температура черной дыры, составляет:

$$T \approx \sqrt{T_r \cdot T_{BH}} \approx \sqrt{T_r} \sqrt{T_{BH}}.$$

Поскольку при $\rho_r \geq \rho_{BH}$ $T_{BH} \leq T$, происходит нагрев черной дыры, а это означает уменьшение ее гравитационного радиуса. Отсюда следует условие устойчивости черной дыры:

$$\rho_{BH} > \rho_r \tag{4}$$

$$\sigma g_1^* T_{BH}^4 \geq \sigma g_2^* T_r^4 \tag{5}$$

Например, для черной дыры с $M_{BH} \approx 10^{10} M_\odot$, $\rho_{BH} \approx 10^{-1} \text{ кг/м}^3$, $\rho_{BH} = \sigma g^* T^4 \approx 0,1 \text{ кг/м}^3$ требуется, чтобы температура окружающей релятивистской плазмы составляла $T = 10^{7,6} \text{ К}$, что дает эквивалентную критическую плотность энергии. Таким образом, черная дыра, погруженная в релятивистскую плазму с $T_r > T_{BH}$ и $\rho_r > \rho_{BH}$, начинает **излучать энергию**, чтобы прийти к состоянию равновесия плотностей $\rho_{BH} = \rho_r$. Однако в замкнутой системе это может привести к дальнейшему нагреву релятивистской плазмы, что в свою очередь ведет к дальнейшему уменьшению и таянию черной дыры. То есть в замкнутой полости происходит ускоренное «таяние» черной дыры до достижения равновесия с окружающей релятивистской плазмой. В некотором смысле это похоже на обращенный во времени коллапс сверхновой, когда излучение собирается в малом объеме и разрушает черную дыру.

В сжимающейся Вселенной реликтовое излучение и релятивистская плазма начинают разрушать сначала звезды, атомы, затем и черные дыры. Для обычной черной дыры с $M_{BH} = 3M_\odot$ плотность $\rho_{BH} \approx 3 \cdot 2 \cdot 10^{30} \text{ кг} / ((3 \cdot 10^3 \text{ м})^3 (4\pi/3)) = 5,3 \cdot 10^{19} \text{ кг/м}^3$ и $\rho_{BH} = \rho_r = \sigma g^* T^{*4}$ при $T \approx 5,2 \cdot 10^{12} \text{ К} = m_p c^2 / 2$, где m_p — масса протона.

При размерах Вселенной $R = 10^{-7} R_H \approx 10^{19} \text{ м}$ и температуре релятивистской плазмы $T \approx 10^{7,6} \text{ К}$ начинают разрушаться сверхмассивные черные дыры. Слиться они не могут, потому что их разрушила бы релятивистская плазма в радиационно-доминантной стадии Вселенной.

Заметим, что если бы все вещество галактик коллапсировало бы в единую сверхмассивную черную дыру, например, в результате слияния галактик в сжимающейся вселенной, ее гравитационный радиус составил бы $R_g \approx 0,3 R_H$, и далее вселенная не могла бы сжиматься. В случае, если бы вещество каждой из галактик сколлапсировало бы в 10^{10} черных дыр с радиусом $R \approx 10^{15} \text{ м}$, то они заняли бы объем с радиусом $r \geq 10^{18,3} \text{ м}$. Этот минимальный объем соответствует температуре $T_{CMBR} \approx 10^8 \text{ К} \geq T_{BH}^*$, что привело бы к нагреву и распаду таких черных дыр. Такой процесс опережал бы слияние и коллапс черных дыр.

Вращение черной дыры, её возможный заряд и индуцируемые магнитные поля аккреционного диска уменьшают критическую плотность, необходимую для «таяния» черной дыры, модифицируя первичный сценарий, поскольку внутренняя энергия такой черной дыры больше, по сравнению с внутренней энергией стационарной черной дыры [10]:

$$M = M_{eff}(A, J, Q) = \sqrt{\frac{\pi \left((Q^2 + A/4\pi)^2 + 4J^2 \right)}{A}}, \quad (6)$$

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

Мы можем рассмотреть этот вопрос в рамках другого — квантового подхода и голографического принципа. Температура черной дыры, по Хокингу,

$$T_{BH} = \frac{\hbar c}{4\pi k_B R_g}.$$

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

$$\rho_c = \frac{3}{8\pi G} H_0^2 = \frac{3M_H}{4\pi R_g^3} \quad (7)$$

приводит к заключению, что хаббловский горизонт событий должен излучать тепловое излучение Хокинга [5, 6] с температурой

$$T_H = \frac{\hbar c}{4\pi k_B R_H}. \quad (8)$$

Если температура черной дыры меньше температуры горизонта, то есть $T_{BH} < T_H$, то мы получаем тот же результат, поскольку $\rho_{BH} < \rho_H$. Так как плотность черной дыры в сжимающейся Вселенной определяется температурой Вселенной, то и время испарения черной дыры определяется временем сжатия вселенной.

По-видимому, условие $C_{abcd} = 0$ приводит и к отсутствию первичных черных дыр. В случае сжимающейся Вселенной черные дыры, образовавшиеся ранее, должны исчезать. Вопрос о том, реализуем ли механизм их возникновения в ходе Большого Взрыва, остается открытым. В этом случае должны существовать сильные локальные возмущения плотности, что вступает в противоречие в высокой однородностью Вселенной.

3. Разрушение нейтронных звезд

Очевидно, что описанный эффект может быть реализован и для других объектов, например нейтронных звезд. Когда температура релятивистской плазмы в сжимающейся Вселенной превысит энергию связи нуклонов в нейтронной звезде, она также начнет разрушаться, «таять», по мере повышения энергии плазмы до 300 МэВ и выше.

Возможно также частичное разрушение и уменьшение нейтронной звезды, попавшей в джет активного ядра галактики. Поток частиц высокой энергии, воздействуя на поверхность нейтронной звезды, будет вынуждать ее «таять», подобно льдинке под струей воды. Однако конкретная величина уменьшения нейтронной звезды зависит от реальных энергетических характеристик релятивистской струи джета.

Вопрос о том, реализуема ли ситуация, когда сверхмассивная черная дыра может находиться в плотном облаке релятивистской плазмы с $T > T_{BH}^*$ с последующим уменьшением и выделением энергии, должен решаться астрономическими наблюдениями.

4. Выводы

- 1) Описание расширения и сжатия Вселенной уравнениями Фридмана требует, чтобы тензор Вейля, равный нулю в начале расширения Вселенной, был равен нулю и при ее сжатии. Поэтому Вселенная в рамках моделей Фридмана-Леметра не коллапсирует в черную дыру при сжатии.
- 2) При сжатии Вселенной образовавшиеся черные дыры начинают «таять», когда плотность релятивистской плазмы, излучения, в которую погружена черная дыра, станет превышать плотность черной дыры. Аналогичный эффект приводит к разрушению и нейтронных звезд.
- 3) По-видимому, необходимо различать энтропию, связанную с кривизной Риччи, S_{BH} и эн-

тропию, связанную с конформной кривизной Вейля, S_{PB} , которые изменяются по различным законам. Первая связана с энтропией Бекенштейна–Хокинга на горизонте событий черной дыры, а также с голографическим принципом, и пропорциональна площади: $S_{BH} \sim R^2$. Вторая, существование которой предположил Р. Пенроуз и которая была явно введена и рассмотрена автором в [3], пропорциональна объему сколлапсировавшей материи: $S_{PB} \sim R^3$: нами была обоснована возможность одномерного, двумерного, трехмерного и n -мерного определения информации и энтропии в сколлапсировавших объектах и во Вселенной [3].

- 4) Таким образом, если энтропия излучения и вещества в расширяющейся Вселенной постоянна, то гравитационная энтропия S_{PB} , связанная с черными дырами — гравитационными скоплениями материи, или с тензором Вейля, осциллирует от нулевого (или близкого к нулю) значения в начале к нулевому в конце, проходя через максимум в максимальной фазе расширения.
- 5) Можно высказать гипотезу, что такая энтропия может компенсироваться информационной упорядоченностью организованных материальных структур $I_{org} = -S_{PB}$. Отметим, что уже барионы являются сложноорганизованными структурами из кварков и глюонов. Такой подход в определенной степени соответствует идее Р. Пенроуза о компенсации уменьшения объема фазового пространства черной дыры процессом увеличения объема фазового пространства при проведении квантовых измерений во Вселенной (при R-операциях, описывающих коллапс волновых функций), в том числе с участием наблюдателя [2]. Тогда суммарная трехмерная энтропия будет равна нулю: $S_{PB} + I_{org} = 0$ на протяжении всей эволюции Вселенной.

Л и т е р а т у р а :

1. Пенроуз Р. Сингулярности и асимметрия по времени. / Общая теория относительности. Под ред. С. Хокинга и В. Израэля. — М.: Мир, 1983. — С. 233–295.
2. Пенроуз Р. Путь к реальности, или законы, управляющие Вселенной. Полный путеводитель — М.–Ижевск, 2007. — 912 с.
3. Букалов А.В. О различных способах определения количества информации и энтропии черных дыр и Вселенной // Физика сознания и жизни, космология и астрофизика. — 2013. — № 2. — С. 8–12.
4. Марков М.А. Предельная плотность материи как универсальный закон природы // Письма в ЖЭТФ. Т. 36, вып. 6. С. 214–216.
5. Verlinde E. JHEP (04) 029 (2011); arXiv:1001.0785
6. Болотин Ю. Л., Ерохин Д. А., Лемец О. А. Расширяющаяся Вселенная: замедление или ускорение? // УФН 182 941–986 (2012)
7. Букалов А.В. О предельной наблюдаемой мощности астрофизических процессов // Физика сознания и жизни, космология и астрофизика. — 2006. — № 4. — С. 50–52.
8. Лавенда Б. Статистическая физика. Вероятностный подход. — М.: Мир, 1999. — 432 с.
9. Букалов А.В. Происхождение позитронного потока в Галактическом центре и модель ядра Галактики // Физика сознания и жизни, космология и астрофизика. — 2010. — № 2. — С. 46–51.
10. Новиков И.Д., Фролов В.П. Физика черных дыр. — М.: Наука, 1986. — 328 с.
11. Уилер Дж., Гаррисон Б., Вакано М., Торн К. Теория гравитации и гравитационный коллапс. — М.: Мир, 1967. — 324 с.

Статья поступила в редакцию 20.01.2014 г.

Bukalov A.V.

On the possible effect of the rapid disappearance or “melting” of black holes

It is shown that in the radiation-dominated universe the black holes begin to evaporate (“to melt”), quickly provided to exceeding the radiation density and plasma above the average density of a black hole: $\rho_r > \rho_{BH}$. This process is much faster than the process of black hole evaporation by Stephen Hawking. This regime may be realized, for example, by compressing the Universe. Therefore, the compression of the Universe can not cause it to collapse into a black hole, and the Weyl conformal curvature tensor is zero at the beginning and end of the Universe's expansion. The same result is obtained in the quantum approach to the description of equalization of temperature of the black hole and the Hubble horizon of the Universe. It is shown that under the influence of relativistic plasma in a compressing Universe or under the influence high energy particle from jets of active galactic nuclei can be destructed the neutron stars also.

Keywords: compression of the Universe, cosmic background radiation, Weyl tensor, gravitational collapse, disappearance of black holes, neutron stars destruction.