

Букалов А. В.

**О ВНУТРЕННЕЙ ТЕМПЕРАТУРЕ ЧЕРНЫХ И БЕЛЫХ ДЫР.
ВОЗМОЖНАЯ ПРИЧИНА
ПРОИСХОЖДЕНИЯ ПОЗИТРОНОВ В РАЙОНЕ ЯДРА ГАЛАКТИКИ**

*Физическое отделение Международного института соционики,
ул. Мельникова, 12, г. Киев-050, 04050, Украина; e-mail: boukalov@gmail.com*

Предложен метод термодинамического описания и определения внутренней температуры черной или белой дыры. Это позволит описать наблюдаемую аннигиляцию позитронов в Галактическом центре как следствие квантового излучения электрон-позитронных пар ядром Галактики как белой дырой. Полученная интенсивность излучения точно совпадает с экспериментальными данными по аннигиляции позитронов. Термодинамический подход устраняет парадоксы причинности, возникающие при описании движения наблюдателя между прошлым и будущим в черных и белых дырах при сохранении принципа «космической цензуры» Р. Пенроуза.

Ключевые слова: ядро Галактики, Sagittarius A*, Галактический центр, аннигиляция позитронов, черная дыра, белая дыра, внутренняя температура черной дыры, электрон-позитронные пары.

PACS number: **04.70.Dy**

Процессы, происходящие в сколлапсировавших объектах под сферой Шварцшильда, до сих пор остаются неясными. Неясным является и характер эволюции вещества и излучения, попавшего под сферу Шварцшильда. В настоящей работе мы предложим подход, позволяющий пролить свет на некоторые аспекты этих процессов.

Для начала определим среднюю плотность черной или белой дыры:

$$\rho_{BH} = \frac{Mc^3}{\frac{4\pi}{3}r_g^3} = \frac{2G_N Mc^3}{\frac{8\pi}{3}G_N r_g^3 c^2} = \frac{r_g c^2}{\frac{8\pi}{3}G_N t_g^3} = \frac{3c^2}{8\pi G_N r_g} = \frac{3}{8\pi G_N t_g^2}, \quad (1)$$

где M — масса объекта, r_g — его гравитационный радиус, t_g — временной интервал, соответствующий гравитационному радиусу.

Мы видим, что средняя плотность черной или белой дыры описывается формулой, полностью совпадающей с формулой для критической плотности Вселенной, следующей из уравнений Эйнштейна–Фридмана:

$$\rho_c = \frac{3H_0^2}{8\pi G_N} = \frac{3}{8\pi G_N t_H^2} = \frac{2G_N M_H}{\frac{8\pi}{3}G_N R_H^3} = \frac{M_H}{\frac{4\pi}{3}R_H^3}, \quad (2)$$

где H_0 — параметр Хаббла, M_H — масса Вселенной в радиусе Хаббла R_H .

Это означает, что мы можем формально рассматривать наблюдаемую нами часть Вселенной как объект, находящийся под сферой Шварцшильда с радиусом Хаббла, $R_H \approx 1.3 \cdot 10^{26}$ м и соответствующей эквивалентной массой (энергией) $M_H = R_H c^2 / 2G_N \approx 9 \cdot 10^{52}$ кг. Поскольку Вселенная расширяется из сверхплотного состояния, мы можем рассматривать ее как белую дыру¹ [1, 3], заполненную веществом, излучением и «темной» вакуумной энергией. При этом наблюдатель находится внутри такой белой дыры, а не снаружи. Такое отождествление означает, что мы можем рассматривать процессы, происходящие в черных или белых дырах, исходя

¹ Так, Я. Б. Зельдович писал: «говорят о Вселенной как о гигантской черной (или, точнее, белой) дыре, через которую прошло все сущее» [3].

из разработанной теории эволюции форм вещества и излучения в ходе Большого Взрыва. При этом гравитационный радиус, являющийся и временным эволюционным параметром [1] $r_g = ct_g$, является величиной обратной аналогу постоянной Хаббла:

$$H^* = B_g = \frac{1}{t_g}. \quad (3)$$

Поэтому гравитационный радиус черной или белой дыры определяет характер физических процессов под сферой Шварцшильда: величина $t_g = r_g / c$ соответствует моменту времени t_i эволюции нашей Вселенной в ходе Большого Взрыва. При этом, как и для Большого Взрыва, мы можем определять внутреннюю температуру вещества и излучения под сферой Шварцшильда по стандартной формуле (2) для эволюции Вселенной [6] в ходе Большого Взрыва:

$$\rho = \sigma g_{eff} T^4 = \frac{3}{32\pi G_N} \cdot \frac{1}{t_i^2} = \frac{3}{8\pi G_N} \cdot \frac{1}{t_g^2} = \frac{3}{8\pi G_N} B_g^2, \quad (4)$$

где σ — постоянная Стефана-Больцмана, g_{eff} — коэффициент, учитывающий вклад степеней свободы бозонов и фермионов, T — эффективная температура.

Обычно считается, что для рождения частиц в гравитационном поле, радиус кривизны должен быть равен длине волны этих частиц: $\lambda \sim R$. Однако кривизна пространства-времени под сферой Шварцшильда, формируется излучением и веществом формирующим черную или белую дыру. Поскольку приливные силы под сферой Шварцшильда велики и стремятся к бесконечности (или планковским величинам) по мере движения к сингулярности, мы можем заключить, что излучение и вещество в черной или белой дыре характеризуется радиационно-доминантным режимом. Это и позволяет использовать формулу (4).

Так при гравитационном радиусе, равном двум гравитационным радиусам Солнца $r_g \approx 5,8$ км $t_{g\odot} = 2r_{g\odot} / c \approx 2 \cdot 10^{-2}$ с, температура излучения, находящегося под сферой Шварцшильда, составит $E \sim 10^{6,5}$ эв $\approx 10^{11,5}$ К, что соответствует времени существования и эволюции Вселенной при $t_i \approx 10^{-2}$ с. Соответственно, если наблюдатель движется внутри объекта под сферой Шварцшильда, например, черной дыры, плотность вещества и излучения увеличивается по мере уменьшения t_i по (4). При этом вещество и излучение в сопутствующей системе координат испытывают фазовые переходы с восстановлением нарушенной симметрии: при темпоральном гравитационном радиусе $t_g = 10^{-5}$ с и температуре $T \approx 10^{12,5}$ К, $E \approx 0,3$ Гэв начинает исчезать конфайнмент кварков и начинает образовываться кварк-глюонная плазма; при $t_i \approx 10^{-10}$ с и температуре $T \approx 10^{15}$ К, $E \approx 10^2$ Гэв восстанавливается симметрия электрослабых взаимодействий; при $t_i \approx 10^{-36}$ с и температуре $T \approx 10^{28}$ К, $E \approx 10^{15}$ Гэв восстанавливается симметрия между сильными и электрослабыми взаимодействиями. Далее вероятно для наблюдателя происходят процессы экспоненциального «схлопывания» его Вселенной до планковской плотности². Такой подход к описанию черной дыры показывает, что сингулярность ЧД заменяется планковской плотностью и планковскими энергиями, а также квантованным пространством-временем или пространственно-временной пеной.

Для сверхмассивных черных дыр с массами $(3 \div 5) \cdot 10^9 M_\odot$ и гравитационными радиусами $r_g \approx 10^{13}$ м, температура под сферой Шварцшильда составляет $T \approx 10^3$ К, $E \approx 10^{-2}$ эв. Особый интерес представляет ядро нашей Галактики — Млечный Путь. Масса ядра составляет $M_N = (3,7 \pm 0,2) \cdot 10^6 M_\odot \approx 7,5 \cdot 10^{36}$ кг [14]. Тогда гравитационный радиус ядра составляет $r_{gN} \approx 1,11 \cdot 10^{10}$ м, соответствующий временной интервал $t_{gN} \approx 37$ с. Эквивалентная температура, определенная по формуле (4) с учетом $g_{eff} \approx 10,3$, составляет $T_N \approx 2,3 \cdot 10^9$ К,

² Заметим, что конечно физически наблюдатель не смог бы существовать в таких условиях, если бы он сам или его исследовательский зонд не состояли бы из тяжелых инертных частиц с массами, близкими к планковской.

$E = k_B T_N \approx 0,2$ Мэв. Максимальная энергия кванта теплового излучения, исходя из закона Вина — $\lambda T = 2,898 \cdot 10^{-3}$ К·м, составляет

$$E_{\max} \approx 1 \text{ Мэв.} \quad (5)$$

Средняя энергия кванта составляет $\langle E \rangle = 3kT = 0,6$ Мэв.

Легко заметить, что эти энергии близки к энергии рождения и аннигиляции электрон-позитронных пар и энергии покоя электрона и позитрона соответственно.

$$e^+ + e^- \rightleftharpoons 2\gamma (2 \cdot 0,511 \text{ Мэв}) \quad (6)$$

В тоже время известно, что в Галактическом центре (Sagittarius A*) находится источник позитронов [5, 8]. Наблюдения показывают, что в области, окружающей ядро Галактики, происходит аннигиляция позитронов с интенсивностью 10^{43} частиц/с. Ранее считалось, что источником позитронов является Al^{26} , который мог находиться в диске, окружающем Галактический центр. Однако последние исследования обсерватории «Интеграл» [12] показали, что аннигиляция происходит только в центральной зоне, окружающей ядро Галактики, а источником является само ядро. При этом позитроны испытывают замедление в межзвездной среде, т. к. релятивистские позитроны, рождающиеся в районе ядра Галактики, не аннигилируют. Скорость движения источников аннигиляции позитронов относительно обсерватории «Интеграл» составляет всего лишь 30 км/сек. Совпадения энергии наблюдаемых процессов и энергии, определенной нами теоретически для ядра Галактики как объекта, находящегося под сферой Шварцшильда позволяет сделать вывод: в Галактическом центре мы наблюдаем электрон-позитронную плазму и излучение, выходящее из-под сферы Шварцшильда. Это означает, что ядро нашей Галактики представляет собой не черную, а белую или серую дыру, излучающую электрон-позитронную плазму в согласии с формулой (4). Кроме того, ядро Галактики вращается со скоростью в два раза меньшей максимально возможной [11], что несколько увеличивает эффективную кинетическую энергию вылета элементарных частиц и квантов излучения из ядра.

Отметим, что вопрос о возможном существовании белых дыр в центрах галактик обсуждался многими авторами, но никаких доказательств этому представлено не было. В тоже время, как показал И. Д. Новиков, в полной карте пространства-времени при наличии черной дыры, неизбежно существует и белая дыра. В противном случае построенная карта пространства-времени не охватывает всего пространства-времени [7]. Этот результат справедлив для полного пространства-времени и для вечных черных и белых дыр. С учетом реальных времен существования супермассивных черных дыр ($10^{60} t_H$), можно считать такой интервал практически вечным. В теории вращающихся черных дыр с решениями Керра-Ньюмена возникают и белые дыры, куда попадает наблюдатель или вещество, пройдя через сингулярность вращающейся черной дыры. Д. Эрдли, Я. Б. Зельдович, И. Д. Новиков, А. А. Старобинский, В. П. Фролов и другие авторы рассматривали случаи превращения белой дыры как остатка протовещества Большого Взрыва в черную при образовании «фиолетового слоя» реликтового излучения и вещества в ранней Вселенной [4, 9, 13]. В то же время в работе Я. Б. Зельдовича и др. [4] показано, что истечение вещества из белой дыры может быть довольно значительным. Кроме того, вариант образования белой дыры в ходе эволюции вакуума и фазовых переходов в эволюционирующей Вселенной в сочетании с вращением белой дыры, по-видимому позволяет избежать превращения белой дыры в черную. Это, вероятно, подтверждается наблюдаемыми аннигиляционными процессами в центре Галактики. Заметим также, что С. Хоукинг в свое время предполагал, что сингулярность черной дыры можно рассматривать как белую дыру, т. к. при почти бесконечной кривизне пространства-времени должны интенсивно рождаться из вакуума пары частица-античастица [15]. Отметим также, что процесс образования электрон-позитронных пар явно носит квантово-гравитационный характер. Об этом говорит наблюдаемая интенсивность процесса рождения и аннигиляции позитронов — 10^{43} частиц/с. Это означает, что один позитрон, точнее электрон-позитронная пара рождается за интервал времени, практически равный планковскому, $t \approx t_{pl} = 5,39 \cdot 10^{-44}$ с:

$$P \approx \frac{2(e^+ + e^-)}{t_{pl}} \quad (7)$$

За время существования Вселенной, $t_U = 4.3 \cdot 10^{17}$ с, ядро Галактики излучает $N \approx 10^{61}$ электрон-позитронных пар. Заметим, что это число практически равно количеству планковских масс, соответствующих массе Вселенной в радиусе Хаббла:

$$N_{e^+e^-} \approx N_{Pl} = \frac{M_H}{m_{Pl}/2}. \quad (8)$$

Энергетический эквивалент излучения электрон-позитронных пар составляет

$$\dot{E} \approx \frac{10^{43} m_e c^2}{(\text{сек})} \approx 10^{13} \left(\frac{\text{кг}}{\text{сек}} \right) c^2 \approx 10^{30} \text{ Дж/с}. \quad (9)$$

За время Хаббла t_H такой выход энергии равен $E \approx 10^{48} \text{ Дж} \approx 10^{31} (\text{кг}) c^2 \approx 5 M_\odot c^2$, то есть составляет эквивалент нескольких масс Солнца. Таким образом мы можем предположить, что ядро Галактики изначально сформировалось в ходе Большого Взрыва и эволюции вакуума как белая дыра, но в отличие от более массивных ядер других галактик — явных черных дыр с массами $M \geq 10^9 M_\odot$, не проэволюционировало в черную дыру. В этой связи уместно поставить вопрос о возникновении особенностей в ходе фазовых переходов в ранней Вселенной [10], которые могут эволюционировать в локальные сгустки первичного или реликтового вакуума, превращаясь в объекты типа галактического ядра и, возможно, в квазары. Так Ю. П. Хлопов показал, что при спонтанном нарушении $U(1)$ -симметрии на инфляционной стадии флуктуации фазы комплексного хиггсовского поля охватывают большие пространственные области. Поэтому после фазового перехода с нарушением симметрии могут образовываться различные топологические особенности, например, замкнутые стенки. Коллапс этих стенок приводит к образованию скоплений черных дыр с массами, которые близки к массам ядер галактик [10]. Это дает новый подход к возможности описания образования ядер галактик без первичной конденсации пылевого облака. Кроме того, обнаружение в последнее время сверхмассивных черных дыр с массами более $10^{10} M_\odot$ ставит под сомнение классическую теорию конденсации и формирования сверхмассивных ЧД и заставляет серьезно относиться к моделям фазовых переходов в вакууме, которые приводят к образованию космических структур. Вероятно для различных масштабов флуктуаций хиггсовского поля могут формироваться как массивные стенки, коллапс которых приводит к появлению сверхмассивных первичных ЧД (СПЧД), так и стенки, нити и другие особенности меньших масштабов, массы которых не хватает для коллапса. Задержавшись в своей эволюции, они могут превращаться в белые дыры и, возможно, в другие объекты — такие как квазары. В этой связи отметим, что светимость единицы объема излучающей области в районе ядра Галактики близка к объемной светимости квазаров [8]. По-видимому, протоядру нашей Галактики не хватило массы для эволюции в сверхмассивную черную дыру, т. к. его масса ($7,5 \cdot 10^{36}$ кг) меньше наблюдаемых типичных масс ядер других галактик на 3 порядка. Заметим также, что белая дыра с массой, близкой к массе Солнца будет испускать протон-антипротонные пары т. к. ее эффективная температура составит 10^{13} К.

Из соотношения для мощности излучения электрон-позитронных пар ядром Галактики:

$$N = \dot{E}_{e^+e^-} = \frac{2m_e}{2t_{Pl}} = 1,69 \cdot 10^{13} \text{ кг/сек} \quad (10)$$

следует и плотность этих электрон-позитронных пар:

$$\rho_{e^+e^-} = P \cdot \rho_N = \frac{\hbar \omega_g}{kT} \cdot \rho_N = \frac{\hbar(c/R_g)}{kT} \cdot \sigma T^4 = \sigma T^3 \hbar \omega_g = 9,7 \cdot 10^{-16} \text{ кг/м}^3, \quad (11)$$

где вероятность P проникновения электрон-позитронной пары или гамма-квантов эквивалентной энергии через гравитационный барьер ядра определяется рядом соотношений, в том числе — соотношением длины волны электрон-позитронной пары $\lambda_\gamma = \lambda_e/2$ и гравитационного радиуса ядра:

$$P = \hbar \omega_g / (kT) = 2m_e / m_{Pl} = 2l_{Pl} / \lambda_e = (1,19 \cdot 10^{22})^{-1} \approx 2R_g / \lambda_e, \quad (12)$$

или

$$\rho_{e^+e^-} = \frac{\hbar\omega_g}{kT} \rho_N = \frac{2m_e}{m_{pl}} g_N = \frac{3m_e}{4\pi l_{pl} \cdot R_g^2} = \frac{3\hbar\omega_g}{4\pi\lambda_e c^2} \sqrt{0,618}, \quad (13)$$

где $\lambda_e = \hbar/(m_e c)$ — комптоновская длина волны электрона (позитрона).

Таким образом, плотность энергии излучения электрон-позитронной пары определяется энергией кривизны $\hbar\omega_g$ в комптоновском объеме электрона или позитрона.

Отметим также, что плотность ядра Галактики можно выразить формулой

$$\rho_N = \frac{3m_e/2}{4\pi\lambda_e^3} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}}. \quad (14)$$

Из (12) также следуют равенства:

$$2R_g \cdot kT = \lambda_e \cdot m_{pl} c^2 \quad (15)$$

$$(m_e c^2)^2 = \hbar\omega_g \cdot m_{pl} c^2 \quad (16)$$

$$kT = \frac{\hbar\omega_g \cdot m_{pl}}{2m_e} \quad (17)$$

Заметим также, что

$$\frac{\hbar c}{G_N m_e^2} \cdot t_{pl} = \alpha_{G_c}^{-1} t_{pl} \approx t_g \quad (18)$$

Соотношения (10÷18) показывают, по-видимому, неслучайность массы и размеров ядра Галактики.

Таким образом, наблюдаемая мощность рождения и аннигиляции электрон-позитронных пар (10^{43} частиц/с), эквивалентная 10^{30} Дж/с, на 22 порядка ниже максимальной мощности $N_{\max} = \dot{E}_{\max} = c^5/(2G_N) = 1,814 \cdot 10^{52}$ [2], развиваемой при коллапсе или реколлапсе:

$$\dot{E}_{e^+e^-} = 10^{-22} \dot{E}_{\max} = 10^{-22} \frac{M_N c^3}{r_g}, \quad (19)$$

$$\dot{E}_{e^+e^-} \approx \frac{\hbar\omega_g}{kT} \dot{E}_{\max} = \frac{2m_e}{m_{pl}} \dot{E}_{\max} = \frac{\lambda_e}{2l_{pl}} \dot{E}_{\max}, \quad (20)$$

или

$$\dot{E}_{e^+e^-} \approx \frac{\lambda_e}{2r_g} \dot{E}_{\max} \approx \frac{\lambda_e}{r_g} \cdot \frac{c^5}{4G_N} \quad (21)$$

Выводы

1. Тожество формул для плотности черных и белых дыр и критической плотности Вселенной позволяет описать физические процессы под сферой Шварцшильда аналогично процессам в ранней Вселенной при Большом Взрыве.
2. Характерные энергии, температуры излучения и вещества в определенной области ЧД или БД задаются эффективным гравитационным радиусом или эквивалентным темпоральным гравитационным интервалом.
3. Для сколлапсировавшего объекта с массой, равной массе ядра нашей Галактики, эффективная энергия и температура излучения практически равна энергии рождения и аннигиляции электрон-позитронных пар, что и наблюдается в действительности. Это позволяет отождествить ядро Галактики, излучающее позитроны и электроны с белой (или серой) дырой, выбрасывающей вещество и кванты излучения с поверхности Шварцшильда, в противоположность черной дыре. По-видимому, излучаются и пары нейтрино-антинейтрино, которые пока ненаблюдаемы.
4. Процесс выброса электрон-позитронных пар является квантово-гравитационным ввиду того, что одна электрон-позитронная пара излучается за планковское время.
5. Ядро Галактики, по-видимому, является задержавшимся в развитии после большого взрыва топологической особенностью или сгустка первичного вакуумного, вероятно хиггсовского

поля, массы которого не хватило для коллапса в сверхмассивную ЧД.

6. Отождествление наблюдаемой Вселенной с макроскопической белой дырой позволяет лучше понять природу происходящих процессов в частности причину необратимости и одномерности текущего эволюционного физического времени как следствия движения наблюдателей по одномерному темпоральному гравитационному радиусу $t_g = r_g / c$, глобально порождаемого гравитационным полем Вселенной [1].
7. Проникновение макроскопических объектов, включая наблюдателя, из черной дыры в белую как это рассматривалось рядом авторов, затруднено и, вероятно, практически невозможно ввиду высоких энергий и температур в центральных областях черных и белых дыр. Это **устраняет парадоксы причинности в возможном движении наблюдателя между прошлым и будущим**, возникающие при рассмотрении диаграмм Пенроуза для вращающихся и заряженных черных и белых дыр, находящихся на полной карте пространства-времени. Кроме того, сама сингулярность не наблюдается т. к. она скрыта излучением элементарных частиц вплоть до планковских энергий и пространственно-временной пены. Поэтому принцип «космической цензуры» Р. Пенроуза в явном виде не нарушается.

Таким образом термодинамический подход к описанию внутренней структуры черных и белых дыр позволяет объяснить природы излучения ядра Галактики и устранить ряд парадоксов, возникающих при описании черных и белых дыр.

Л и т е р а т у р а :

1. Букалов А. В. Причина одномерности и необратимости времени. Возможный возраст Вселенной. // Физика сознания и жизни, космология и астрофизика. — 2002. — № 4. — С. 22–23.
2. Букалов А. В. О максимальной мощности астрофизических процессов. // Физика сознания и жизни, космология и астрофизика. — 2006. — № 4.
3. Зельдович Я. Б. Теория вакуума, быть может, решает загадку космологии // УФН, 1981, т. 133, вып.3. — С. 479–503.
4. Зельдович Я. Б., Новиков И. Д., Старобинский А. А. // ЖЭТФ, 1974, т. 66, С. 1897.
5. Кардашев Н. С. Феноменологическая модель ядра Галактики // Итоги науки и техники. Серия Астрономия. Т. 24. — М., 1983.
6. Кландор-Клайнротхаус Г. В., Цюбер К. Астрофизика элементарных частиц. — М.: Редакция журнала «Успехи физических наук», 2000. — 496 с.
7. Новиков И. Д., Фролов В. П. Физика черных дыр. — М., Наука, 1986. — 328 с.
8. Физика космоса: Маленькая энциклопедия. — М., Сов. энциклопедия, 1986. — 783 с.
9. Фролов В. П. // ЖЭТФ, 1974, т. 66, С. 813.
10. Хлопов М. Ю. Основы космомикрoфизики. — М.: Едиториал УРСС, 2004. — 368 с.
11. Genzel R et al. // Nature, 2003, 425, 934.
12. Churazov E. et al Positron annihilation spectrum from the Galactic Centre region observed by SPI/Intergal // Monthly notices of the Royal Astronomical Society. — 2005. — Vol. 357, Issue 4. — P. 1377.
13. Eardly P. M. // Phys. Rev. Lett., 1974, V. 33, P. 442.
14. Ghez A. M. et al Stellar orbits around the Galactic Center Black Hole // ApJ, 2005, 620, 744.
15. Howking S. W. // Phys. Rev. D, 14, 2460 (1976).

Статья поступила в редакцию 05.03.2006 г.

Boukalov A. V.

On the internal temperature of the black and white holes. The possible reason of the positions origin in the Galaxy nucleus region

It is proposed the method for the thermodynamical description and the internal temperature determination of the black and white hole. It will provide to describe the observed positron annihilation in the Galaxy center as a result of the quantum radiation, generated by electron-positron pairs from the Galaxy nucleus, which is considered as a white hole. The obtained radiation intensity exactly coincides with the experimental data on the positrons annihilation.

Key words: Galaxy nucleus, Sagittarius A*, Galactic Center, positrons annihilation, black hole, white hole, black hole internal temperature, electron-positron pairs.

PACS number: **04.70.Dy**