

<https://doi.org/10.26160/2572-4347-2025-22-36-42>

ГИПОТЕЗА О СУЩЕСТВОВАНИИ ЧЕРНЫХ ДЫР-ПУЗЫРЕЙ

Окунев В.С.

*Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана,
Москва, Россия*

Ключевые слова: черная дыра Шварцшильда, радиус Шварцшильда, ядра-пузыри, гравитационный потенциал, сингулярность, пространственно-временной барьер.

Аннотация. Основная цель работы – попытка объяснения существования черных дыр в форме пузырей. Процедура и методы исследования основаны на анализе свойств черных дыр, полученных с помощью простых соотношений специальной теории относительности и на подобии со сверхтяжелыми атомными ядрами-пузырями. Результаты проведенного исследования показали, что такая пузырчатая форма черной дыры устойчива до определенного времени, после чего дыра саморазрушается (взрывается). Значимость исследований в обосновании механизма самозащитенности вселенной от поглощения ее черной дырой.

HYPOTHESIS OF THE EXISTENCE OF BUBBLE BLACK HOLES

Okunev V.S.

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Keywords: Schwarzschild black hole, Schwarzschild radius, bubble nuclei, gravitational potential, singularity, space-time barrier.

Abstract. The main goal of the work is an attempt to explain the existence of bubble-shaped black holes. The procedure and methods of the study are based on the analysis of the properties of black holes obtained using simple relationships of the special theory of relativity and similarity with superheavy atomic nuclei-bubbles. The results of the study showed that such a bubble-shaped black hole is stable for a certain time, after which the hole self-destructs (explodes). The significance of the research in substantiating the mechanism of self-protection of the universe from being absorbed by a black hole.

Введение. Каков механизм самозащитенности вселенной от поглощения ее черной дырой? Очевидно, черная дыра не должна неограниченно увеличиваться в размерах и по массе. Должен быть предел, связанный либо с остановкой роста черной дыры, либо с ее естественным распадом (взрывом, разрушением). Механизм остановки роста отсутствует, а распад возможен и закономерен с точки зрения реализации механизма самозащитенности вселенной.

Атомные ядра-пузыри. На диаграмме «число протонов – число нейтронов» можно выделить протонную и нейтронную границы стабильности атомных ядер, за которыми ядра не существуют. Существует граница стабильности, связанная с максимально возможной массой ядра (массовым числом). Она точно не определена, но предположительно может находиться при значениях заряда ядра около 130 [1]. Предполагают, что гораздо более тяжелые атомные ядра могут существовать в форме пузырей. В центральной

области таких ядер плотность ядерной материи стремится к нулю. Американский физик-теоретик Д.А. Уилер полагал, что кроме сферических, сфероидальных и эллипсоидальных возможны и другие формы атомных ядер: пузыри и тороиды [2]. Пузырьковые ядра (ядра, содержащие пузыри) могут образовываться в результате столкновений тяжелых ионов при высоких энергиях [2]. Исследования существования пузырей в атомных ядрах были начаты в конце 1960-х гг. В 2017 г. были впервые получено экспериментальное подтверждение того, что в центре ядер кремния-34 находится пузырек – область с пониженной плотностью протонов. Этот результат ранее был предсказан теоретически [3]. Пузырьковые конфигурации возможны в основном и возбужденных энергетических состояниях. Некоторые большие сферические пузырьковые ядра могут быть стабильными [4]. Пузырьковые ядра стабильны при массовых числах около 700 [5]. Более легкие ядра не имеют стабильных пузырьков [5]. Ядра ^{36}Ar , ^{84}Se , ^{138}Ce и ^{200}Hg в основном и слабовозбужденных состояниях являются пузырьковыми с небольшой дырой внутри [6].

Геометрическая форма сверхтяжелых ядер-пузырей может объясняться свойством насыщения ядерных сил. Протоны стремятся «разорвать» ядро кулоновскими силами, избыточные нейтроны (по сравнению с числом разрывающих ядро протонов) за счет сил ядерного притяжения сдерживают ядро от распада. При большом числе нуклонов в ядре наступает насыщение ядерных сил, когда эти силы не в состоянии противостоять кулоновскому отталкиванию протонов ядра.

В природе между фундаментальными взаимодействиями и физическими объектами существует много аналогий. Например, нейтронные звезды можно считать гигантскими атомными ядрами с числом нуклонов $\sim 10^{56}$. Отличие лишь в том, что в нейтронных звездах большую роль играет гравитационное взаимодействие, практически не оказывающее влияние на свойства и поведение известных атомных ядер. Принято считать, что из всех видов фундаментальных взаимодействий только силы гравитационного взаимодействия не насыщаются. Однако экспериментальные доказательства этого отсутствуют.

Элементарное описание черных дыр. Рассмотрим простейшую черную дыру Шварцшильда. Это сферически-симметричная электрически нейтральная не вращающаяся черная дыра. В центре черной дыры расположена сингулярность пространства-времени, в которой сконцентрирована вся ее масса. Дыра окружена горизонтом событий (соответствует радиусу Шварцшильда), из-под которого невозможно распространение никаких сигналов. Соотношение для определения радиуса Шварцшильда может быть получено из преобразований Лоренца [7]. Эти преобразования позволяют установить связь промежутков времени Δt и $\Delta t'$, проходящих в двух инерциальных системах отсчета K и K' с совпадающими осями x и x' . Одна из систем движется вдоль оси $x \uparrow x'$ со скоростью v . Тогда

$$\Delta t = \gamma \Delta t', \quad (1)$$

где $\gamma = (1 - \beta^2)^{-1/2}$ – фактор Лоренца; $\beta^2 = v^2/c^2$; c – скорость света в вакууме.

Известна связь скорости v тела, движущегося в поле силы тяжести Земли с ускорением свободного падения g , и пройденного расстояния x : $v^2 = 2gx$. Потенциальная энергия однородной силы тяжести $U = -mgx$, гравитационный потенциал Земли $\phi = -U/m = -gx$. В этом случае

$$v^2 = 2|\phi|. \quad (2)$$

Выражение (2), полученное для земных условий, легко обобщить на все объекты вселенной [7]. Для этого необходимо внести некоторые изменения, учитывая, что гравитационный потенциал некоторых космических объектов (например, черных дыр) по абсолютному значению может на много порядков превышать гравитационный потенциал Земли, других планет и звезд. Существование черных дыр звездных и галактических масштабов доказано астрономическими наблюдениями [8]. Например, масса центральной черной дыры в галактике Messier 87 в созвездии Девы должна быть не менее 6,4 млрд. солнечных масс [9].

В общем случае гравитационный потенциал определяется как \

$$\phi = -GM/x, \quad (3)$$

где G – гравитационная постоянная, M – масса большого объекта; x – расстояние от центра масс большого объекта до данной точки, в которой расположено тело массой m (причем $m \ll M$).

Тогда выражение (2) примет вид

$$v^2 = 2GM/x. \quad (4)$$

При $\beta^2 = 1$ выражение под корнем в факторе Лоренца равно нулю. Из условия $\beta^2 = 1$ получим $x = x_{\text{Ш}}$ – радиус Шварцшильда (гравитационный радиус):

$$x_{\text{Ш}} = 2GM/c^2. \quad (5)$$

Заметим, что формула (4) была получена для $2|\phi|/c^2 \ll 1$. Обозначим $\alpha = GMx^{-1}c^{-2}$. В этом случае $1 - 2\alpha \approx 1 - 2\alpha + \alpha^2 = (1 - \alpha)^2$, а фактор Лоренца можно записать в виде:

$$\gamma = 1/|1 - \alpha|,$$

а формула (1) с таким фактором γ справедлива для любого гравитационного потенциала. Очевидно, при $\alpha = 1$ фактор Лоренца равен нулю. Из этого условия получим $x = x_{\text{Ш}}$ – радиус Шварцшильда, отличающийся от определенного ранее в 2 раза:

$$x_{\text{Ш}} \approx GM/c^2. \quad (7)$$

Однако, рассмотренное условие ($\alpha = 1$) эквивалентны движению объекта с ненулевой массой покоя со скоростью света. (Черные дыры Керра могут вращаться с максимальной скоростью $v = 0,95 c$. Черная дыра GRS 1915+105 вращается со скоростью $1150 c^{-1}$ [10].) Преобразования Лоренца были сформулированы так, что такое движение невозможно. Значит, условие $\alpha = 1$ соответствуют идеальному, не выполняющемуся на практике, случаю. Иначе говоря, радиус Шварцшильда не определен.

Заметим, что радиус Шварцшильда относительно небольших космических объектов намного меньше их действительного радиуса.

Например, радиус Шварцшильда для Земли – 0,887 см (средний радиус Земли – 6378 км), для Солнца – 2,95 км (радиус Солнца – 695990 км), для планковской черной дыры – $3,227 \cdot 10^{-35}$ м (характерный размер $1,6 \cdot 10^{-35}$ м). Для нейтронных звезд радиус Шварцшильда около 1/3 от их действительного радиуса. К черным дырам относят космические объекты (тела), испытавшие гравитационный коллапс, действительный радиус которых близок к радиусу Шварцшильда. Радиус Шварцшильда для сверхмассивной черной дыры (массой в 3,5 млрд. солнечных масс), расположенной в центре нашей Галактики, около 10 млрд. км.

Ход времени. Распределение массы. Сингулярность. Из соотношения (1) при $\alpha = 1$ следует, что на радиусе Шварцшильда время для внешнего наблюдателя останавливается. Объект, приближающийся к черной дыре, вечно остается на расстоянии, равном радиусу Шварцшильда от ее центра. Из этого же соотношения следует, что время внутри черной дыры (при $x < x_{\text{ш}}$) является комплексной величиной, т. е. не имеет физического смысла.

Из соотношений (1) и (7) следует, что время внутри черной дыры (при $x < x_{\text{ш}}$) не мнимое. С точки зрения внешнего наблюдателя при приближении к черной дыре время замедляется, останавливается, а после пересечения радиуса Шварцшильда ускоряется по мере приближения к центру дыры. Но останавливается ли время при $x = x_{\text{ш}}$? Как было отмечено, условие $\alpha = 1$ эквивалентно движению объекта с ненулевой массой покоя со скоростью света, что невозможно с точки зрения преобразований Лоренца. Значит, действительный радиус черных дыр должен превышать радиус Шварцшильда. В этом случае часть массы дыры (эргосфера) находится вне гравитационного радиуса. Принято считать, что эргосфера есть только у вращающихся черных дыр. Черная дыра притягивает космические объекты. По мере приближения к черной дыре Шварцшильда средняя плотность материи увеличивается, создавая периферийный шаровой слой (за пределами черной дыры, т. е. вне радиуса Шварцшильда), участвующий в гравитации черной дыры. Значит, реальный «радиус» черной дыры больше радиуса Шварцшильда.

В механике при расчетах часто полагают, что масса объекта сосредоточена в точке, являющейся центром масс. При расчетах гравитационных эффектов внутри черных дыр необходимо учитывать, что масса дыры распределена в пространстве. Принято считать, что плотность материи черной дыры увеличивается при приближении к ее центру. В центре она велика (максимальна), но конечна. Такой поход справедлив при расчетах объектов, приближающихся к черной дыре – объекту с большой гравитационной массой. В этом случае удобно предположить, что масса дыры сосредоточена в ее центре. Распад материи внутри черной дыры происходит на компоненты конечной массы и ненулевых размеров: на кварки и электроны. Значит, плотность материи в сингулярности конечна, а размер сингулярности отличен от нуля.

По мере погружения какого-либо объекта в черную дыру, все большую роль играет распределение ее массы. Объект притягивается центральной

частью дыры, перемещаясь к ее центру, и периферийной частью дыры, что препятствует его перемещению к центру дыры.

Черные дыры-пузыри. Черные дыры могут иметь форму пузырей. Это отчасти подтверждает соотношение (7). Масса M черной дыры в рассредоточена по объему черной дыры, который выходит за радиус Шварцшильда. Значит, при расчете гравитационных эффектов внутри дыры следует учитывать, что объект притягивается не всей массой M , а лишь ее частью. В этом случае M в выражениях (5) и (7) меньше массы черной дыры. Значит, время пребывания объекта на радиусе Шварцшильда с точки зрения внешнего наблюдателя велико, но конечно. Условие $GM = xc^2$ невыполнимо, всегда $GM < xc^2$. Радиусом Шварцшильда следует считать множество точек, находящихся на определенном расстоянии от центра черной дыры, в которых с точки зрения внешнего наблюдателя время идет наиболее медленно: $\Delta t \rightarrow \max$.

Из оценок по формуле (5) следует, что на радиусе Шварцшильда существует пространственно-временной «потенциальный» барьер (рис. 1). На рис. 1 представлена зависимость $\Delta t/\Delta t'$ от $x/x_{\text{ш}}$ при приближении к центру черной дыры из области $|\phi| \rightarrow 0$. Барьер несимметричен относительно пространственных координат (в данном случае – оси абсцисс). При

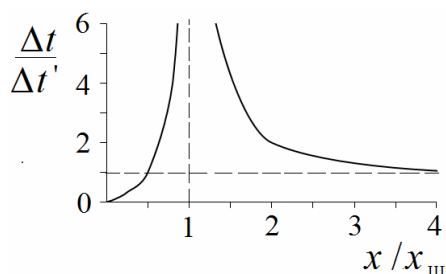


Рис. 1. Зависимость $\Delta t/\Delta t'$ от $x/x_{\text{ш}}$

вхождении какого-либо объекта внутрь черной дыры, т.е. при пересечении радиуса Шварцшильда снаружи, промежуток времени Δt с точки зрения внешнего наблюдателя снова уменьшается (см. рис. 1), а на расстоянии $0,5 x_{\text{ш}}$ от центра черной дыры время идет так же, как и для внешнего наблюдателя. Это косвенно подтверждает, что гравитационная масса черной дыры сосредоточена не в ее центре, а на каком-то расстоянии от центра. Объекты, находящиеся снаружи и внутри дыры, притягиваются к сфере радиуса $x_{\text{ш}}$, но в центре дыра полая. Это может быть результатом насыщения гравитационных сил.

По мере приближения «объекта» к центру черной дыры, масса шарового слоя, находящегося позади объекта увеличивается. В определенный момент времени масса перед объектом и за объектом станут равны. Объект окажется в гравитационном равновесии: силы притяжения внутренним шаром и внешним шаровым слоем станут одинаковыми (рис. 2). В итоге объект, расположенный на расстоянии R_1 от центра черной дыры 0 (см. рис. 2) будет находиться в состоянии равновесия.

По мере захвата черной дырой других объектов вселенной, радиус R_1 будет изменяться. На сфере радиуса R_1 будет сосредотачиваться основная масса черной дыры. Именно там, а не в центре возможна сингулярность: максимальная плотность. Распределение плотности или массы материи черной дыры будет подобно зависимости, представленной на рис. 1, только с

учетом того, что в данном случае по оси абсцисс вместо $x/x_{\text{Ш}}$ следует откладывать R_1/R . Собственное время нахождения объекта, попавшего в черную дыру, будет максимальным на расстоянии R_1 от ее центра. Плотность материи по мере приближения к центру черной дыры от ее условной внешней границы R сначала будет увеличиваться, достигнув максимума на расстоянии R_1 от ее центра, затем уменьшаться до сколь угодно малых значений в центре 0. В центре черной дыры образуется полость, дыра приобретает форму пузыря. Можно с определенной степенью осторожности говорить о насыщении сил гравитационного взаимодействия.

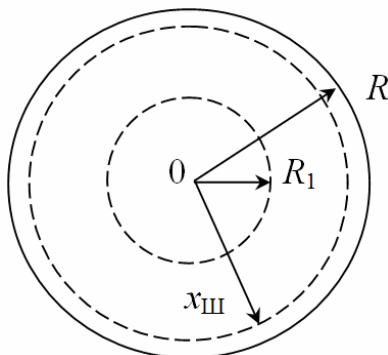


Рис. 2. Условная схема черной дыры: 0 – центр; R – реальный радиус черной дыры (плотность материи отлична от нуля); $x_{\text{Ш}}$ – радиус Шварцшильда; R_1 – радиус, на котором уравновешены силы гравитационного притяжения внутренним шаром черной дыры ($0 \leq x \leq R_1$) и внешним шаровым слоем ($R_1 \leq x \leq R$)

Наблюдается полная аналогия с атомными ядрами-пузырями. Таким образом, эволюция черной дыры может идти по следующей схеме. Малая дыра, состоящая из сплошной материи, поглощая космические объекты, увеличивается. Плотность материи увеличивается по мере приближения к центру дыры. При достижении определенной массы (радиуса) силы гравитационного взаимодействия насыщаются (если это можно считать насыщением), и в центральной части черной дыры плотность материи начинает уменьшаться. Наблюдается аналогия с ядром кремния-34, в центре которого находится малый пузырь. Дальнейший рост дыры ведет к изменению ее структуры (геометрии), когда плотность материи во внутренней части дыры стремится к нулю, как и во внешнем пространстве, окружающим дыру. Получается черная дыра в форме пузыря. Наблюдается аналогия со сверхтяжелыми атомными ядрами-пузырями. По мере уменьшения толщины стенок пузыря черная дыра становится все более чувствительной к поглощению космических объектов. Происходят флуктуации толщины стенки пузыря. Эти более массивные утолщения (по сравнению со стенкой) притягивают части пузыря гравитационными силами. Пузырь лопається. Итак, дальнейшее увеличение массы и радиуса черной дыры тонкостенный «пузырь» разрывается: происходит взрыв черной дыры. (В 2024 г. астрономы обнаружили доказательство одного из мощнейших взрывов черной дыры [11]). По этой причине черная дыра не может поглотить всю вселенную.

Закключение. Возможно, что силы гравитационного взаимодействия характеризуются свойством насыщения. Хотя прямых доказательств этому нет. Черные дыры могут иметь форму пузырей. Сначала они стабильны, как атомные ядра-пузыри. С течением времени черные дыры-пузыри увеличиваются в размерах, становятся тонкостенными. При поглощении ими космически объектов большой массы возникают флуктуации массы и толщины в разных областях тонкостенной дыры-пузыря. Толщина стенок пузыря неодинакова. Это способствует разрыву пузыря гравитационными силами. Дыра-пузырь взрывается.

Список литературы / References

1. Okunev V.S. About islands of stability and limiting mass of the atomic nuclei // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018, vol. 468, p. 012012. DOI: 10.1088/1757-899X/468/1/012012.
2. Our Nuclear Theory Correspondent. Reality of bubble nuclei // Nature. 1974, vol. 248, p. 198. doi.org/10.1038/248198a0.
3. Mutschler A., Lemasson A., Sorlin O., et al. A proton density bubble in the doubly magic ^{34}Si nucleus // Nature Physics. 2017, vol. 13, pp. 152-156. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.18.704>.
4. Siemens P.J., Bethe H.A. Shape of Heavy Nuclei // Physical Review Letter. 1967, vol. 18, pp. 704-706. doi.org/10.1103/PhysRevLett.18.704.
5. Krishnan R.M., Pu W.W.T. Bubble nuclei // Physics Letters B. 1973, vol. 47, no. 3, pp. 225-226. doi.org/10.1016/0370-2693(73)90715-6.
6. Cheuk-Yin Wong. Bubble nuclei // Physics Letters B. 1972, vol. 41, no. 4, pp. 451-454. DOI: 10.1016/0370-2693(72)90672-7.
7. Okunev V.S. Unexpected Conclusions of the General Theory of Relativity when Correcting its Simplest Relations // AIP Conference Proceedings. 2023, vol. 2911, p. 2028. doi.org/10.1063/5.0163963.
8. Black holes: Theory and observation / Edited by: Hehl F.W., Kiefer C., Metzler R.J.K. – Springer, 1998. – 519 p.
9. Walsh J.L., Barth A.J., Ho L.C., Sarzi M. The M87 Black Hole Mass from Gas-dynamical Models of Space Telescope Imaging Spectrograph Observations // The Astrophysical Journal. 2013, vol. 770. doi.org/10.48550/arXiv.1304.7273.
10. McClintock J.E., Shafee R., Narayan R., Remillard R.A., Davis S.W., Li-Xin Li. The Spin of the Near-Extreme Kerr Black Hole GRS 1915+105 // The Astrophysical Journal. 2006, vol. 652, no. 1, pp. 518-539. DOI: 10.1086/508457.
11. Osase Omoruyi, Tremblay G.R., Combes F., et al. Beads-on-a-string" Star Formation Tied to One of the Most Powerful Active Galactic Nucleus Outbursts Observed in a Cool-core Galaxy Cluster // The Astrophysical Journal. 2023, vol. 963, no. 1. DOI: 10.3847/1538-4357/ad1101.

Окунев Вячеслав Сергеевич – кандидат технических наук, доцент okunevvs@bmstu.ru	Okunev Viacheslav Sergeevich – candidate of technical sciences, associate professor
---	--

Received 20.04.2025