

ЭВОЛЮЦИЯ КОНЦЕПЦИИ БЕЛЫХ ДЫР

Филичкин И. А., студент

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Андрос Е. В. – старший преподаватель

Аннотация. В данной работе рассматривается эволюция представлений о белых дырах, начиная математическими моделями Фламма и Эйнштейна-Розена до астрофизической гипотезы И.Д. Новикова и современных исследований в рамках петлевой квантовой гравитации (LQG). Выводится потенциальная роль белых дыр в объяснении природы темной материи и разрешении информационного парадокса черных дыр Хокинга.

Белая дыра — это гипотетический астрофизический объект, предсказываемый уравнениями общей теории относительности Эйнштейна и представляющий собой антипод черной дыры. В то время как черная дыра — это область пространства-времени, из горизонта событий которой не выйти, белая дыра, напротив, является областью, допускающей только исходящие траектории. Белые дыры математически допустимы, но их физическая реализуемость долгое время остается под вопросом ввиду квантовой нестабильности.

Первым математическую возможность существования белой дыры отметил Людвиг Фламм в 1916 году, анализируя решение уравнений Эйнштейна для сферически-симметричного гравитационного поля (метрика Шварцшильда) [1]. Расчеты показали, что уравнения допускают два решения, одно из которых описывает черную дыру, а другое — объект со свойствами, противоположными ей. Более того, было обнаружено, что эти две области пространства-времени могут быть соединены между собой пространственно-временным каналом — прообразом того, что сегодня называют «кротовой норой». Позже эта гипотеза была развита в статье Эйнштейна и Розена 1935 года, ставшей фундаментальной для понимания связи черных и белых дыр и получившей название «Мост Эйнштейна-Розена» [2].

Игорь Дмитриевич Новиков в 1964 году искал объяснение квазарам — мощным и неизвестным на то время вылескам энергии в космосе. Исследование предполагало, что из-за неоднородности Большого взрыва некоторые области пространства, «запаздывающие ядра» (lagging cores) [3], могли задержаться в своем расширении, оставаясь в состоянии, близком к сингулярности. Для внешнего наблюдателя такой объект ничем не отличался бы от черной дыры, так как из-под его горизонта событий ничто не могло бы выйти, и он оставался бы невидимым. Однако, согласно представленной модели, ядро должно было начать стремительно расширяться спустя миллиарды лет, высвобождая колоссальную энергию. Таким образом, это была первая астрофизическая модель белой дыры, хотя она и была опровергнута самим автором спустя 10 лет [4], поскольку первые расчеты не учитывали рождение частиц вблизи сингулярности.

Гамма-всплеск GRB 060614, зарегистрированный 14 июня 2006 года на красном смещении $z \sim 0,125$, позволил иначе взглянуть на то, как белые дыры могут проявлять себя во Вселенной. О Главная аномалия заключалась в том, что при длительности 102 секунды (что соответствует классу длинных всплесков, >2 секунд) он не обладал обязательными характеристиками: отсутствовала сверхновая, а спектральные задержки и пиковая светимость были свойственны классу коротких всплесков (<2 секунд) [5]. Это было проверено благодаря двум снимкам галактики после всплеска GRB 060614. На первом снимке, сделанном 27 июня, хорошо видно послесвечение (см. рисунок 1). На втором же, сделанном 15 июля, послесвечение исчезло, но свет от сверхновой не зафиксирован (см. рисунок 2).

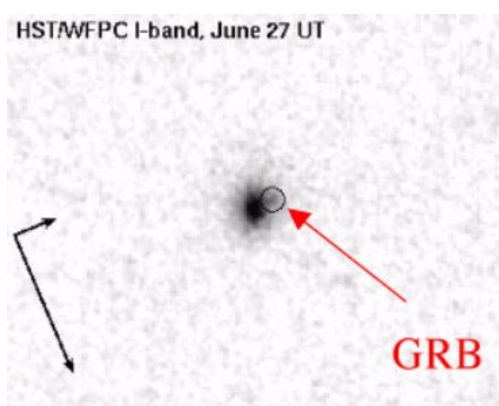


Рисунок 1 – Снимок галактики с гамма-всплеском GRB 060614 27 июня 2006 года

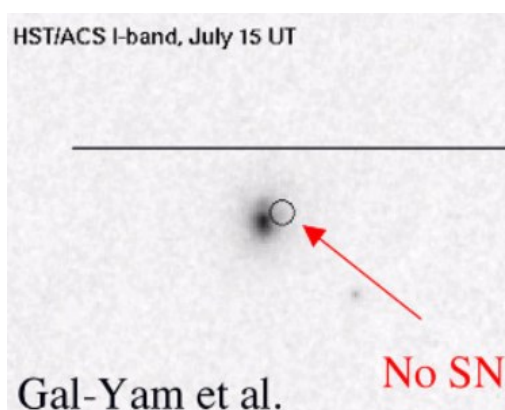


Рисунок 2 – Снимок галактики с гамма-всплеском GRB 060614 15 июля 2006 года

Проанализировав это несоответствие, в 2011 году израильские астрофизики Алон Реттер и Шломо Хеллер выдвинули предположение, что GRB 060614 мог быть прямым наблюдением белой дыры. Такое явление было названо «Малым взрывом» (Small Bang) по аналогии с Большим взрывом (Big Bang). Исследования привели к гипотезе, что Большой взрыв и сам мог являться следствием колоссального импульса белой дыры [6]. Считается, что Большой взрыв произошел из космологической сингулярности, что косвенно подкрепляет это предположение. Таким образом, можно допустить, что такие «взрывы» гипотетически способны своей чрезвычайно мощной энергией создавать новые вселенные, однако на данный момент эти суждения спекулятивны, как и сама гипотеза о связи гамма-всплесков и белых дыр.

Современные гипотезы белых дыр опираются на теорию петлевой квантовой гравитации (Loop Quantum Gravity, LQG). В этой теории пространство-время описывается как дискретная структура, состоящая из мельчайших квантовых ячеек планковских масштабов. По расчетам LQG, вещество, коллапсирующее в черную дыру, не доходит до сингулярности, а сжимается до максимально возможной (планковской) плотности, образуя «планковскую звезду» (Planck star) [7]. В этот момент квантовые эффекты гравитации меняют знак, после чего сжатие сменяется стремительным расширением, формируя белую дыру, выбрасывающую захваченную материю наружу. Исследования показывают, что время жизни белой дыры может быть пропорционально четвертой степени ее начальной массы, превышая предполагаемый возраст Вселенной. Это послужило образованию гипотезы Карло Ровелли и Франческо Видотто, что микроскопические белые дыры, оставшиеся от ранней Вселенной, могут составлять темную материю [8]. Кроме того, теория отскока разрешает проблему Хокинга (исчезновения информации в черной дыре), поскольку информация, сжатая в черных дырах, не исчезает и не уничтожается, а возвращается выталкивающим импульсом белой дыры [9].

Таким образом, концепция белых дыр прошла полную эволюцию, начиная с математических моделей Фламма и Новикова и заканчивая связью с теорией петлевой квантовой гравитации, фундаментально влияющей на представление о законах Вселенной, особенно в квантовом мире. Наиболее значимым результатом современных исследований является то, что белые дыры, возникающие в результате квантового отскока, могут не только объяснить природу темной материи, но и разрешить информационный парадокс Хокинга. Поиск новых наблюдательных данных, подобных гамма-всплеску GRB 060614, позволит приблизиться к подтверждению или опровержению этой теории.

Список использованных источников:

1. Flamm, L. Beiträge zur Einsteinschen Gravitationstheorie / L. Flamm // *Physikalische Zeitschrift*. – 1916. – Vol. 17. – P. 448-454.
2. Einstein, A. The Particle Problem in the General Theory of Relativity / A. Einstein, N. Rosen // *Physical Review*. – 1935. – Vol. 48, No. 1. – P. 73.
3. Новиков, И. Д. О запаздывающем расширении вселенной и квазарах / И. Д. Новиков // *Астрономический журнал*. – 1964. – Т. 41. – С. 1075.
4. Zel'dovich, Ya. B. Quantum effects in white holes / Ya. B. Zel'dovich, I. D. Novikov, A. A. Starobinskii // *Journal of Experimental and Theoretical Physics*. – 1974. – Vol. 39, No. 6. – P. 933.
5. Fynbo, J. P. U. GCN Circular 5277: GRB060614: Detection of the host galaxy but no supernova emission / J. P. U. Fynbo [et al.] // *NASA GCN*. – 2006.
6. Retter, A. The revival of white holes as Small Bangs / A. Retter, S. Heller // *arXiv preprint arXiv:1105.2776*. – 2011.
7. Rovelli, C. Planck stars / C. Rovelli, F. Vidotto // *International Journal of Modern Physics D*. – 2014. – Vol. 23, No. 12. – P. 1442026.
8. Rovelli, C. Pre-big-bang black-hole remnants and past low entropy / C. Rovelli, F. Vidotto // *arXiv preprint arXiv:1805.03224*. – 2018.
9. Haggard, H. M. Black hole fireworks: quantum-gravity effects outside the horizon spark black to white hole tunneling / H. M. Haggard, C. Rovelli // *arXiv preprint arXiv:1407.0989*. – 2014.