

Время и черные дыры

(Обновлено 02.09.2009)

Аннотация

Использована концепция “параметрического” времени для расширяющейся черной дыры, жестко связанного с радиусом ее горизонта событий и, поэтому, одинакового для внешнего и внутреннего наблюдателей. Приводится решение уравнений Эйнштейна-Фридмана для внутренней области такой черной дыры. В связи с эволюцией дыры (ростом ее массы и размера) рассматривается вопрос о наличии в ней белой дыры, через которую внутрь нее поступает материя и/или энергия.

Введение

Концепция времени в ОТО вообще и в физике черных дыр (ЧД) в частности отягощена двумя фундаментальными проблемами.

Первая из них связана с недостаточно ясным пониманием атрибутов времени. В областях со слабым тяготением используется понятийный аппарат псевдоевклидовой геометрии Минковского с отчетливым противопоставлением пространственных и временной метрических компонент – за счет как знака, так и множителя i . Однако при этом никак не выделяется свойство *необратимого течения времени* – точнее, различные и не всегда совместимые объяснения вводятся *a posteriori*.

Это плохо само по себе, но порождает еще одну проблему, когда (например, в теории черных дыр) рассматривают переход через световой барьер или горизонт событий, и происходит обмен ролями между пространственной и временной компонентами. В этих случаях делают вывод о существенно *нестационарном и однонаправленном* поведении в такой “инвертированной” области, что опять-таки основывается на зыбкой и не до конца понимаемой сущности течения времени.

Динамика поведения пробного тела обычно изучается в достаточно “мелком” масштабе времени, при котором *радиус горизонта событий рассматривается в качестве заданной (т.е. практически неизменной) величины*. При этом возникает известная коллизия, когда в удаленной от ЧД системе отсчета промежутки времени достижения телом горизонта черной дыры оказываются бесконечным, а в сопутствующей системе отсчета – конечным. Описывающие эти процессы диаграммы Пенроуза используют представление о множественных “других” вселенных. Заметим, что они иногда интерпретируются как далекое (но конечное) прошлое или будущее нашей собственной Вселенной, однако в действительности их удаленность во времени должна быть *бесконечной*, что заведомо не согласуется с конечностью времени существования нашей Вселенной.

Ниже я предлагаю использовать новый подход к пониманию к сущности времени, который развивается мной с 1993 года.

Параметрическая концепция времени для черной дыры

Как было отмечено, современная физика черных дыр сталкивается с различными понятиями времени для наблюдателей вне и внутри области под горизонтом событий. Из-за отсутствия обмена информацией проблема

синхронизации времен (и вообще увязки процесса их течения) кажется на первый взгляд неразрешимой. Однако так ли это на самом деле?

Замечательным свойством ЧД является объективное существование и принципиальная возможность определения их основных параметров – массы, электрического заряда и момента вращения. Эти параметры в совокупности обуславливают площадь горизонта событий ЧД, с помощью которой легко найти и *радиус* (размер) ЧД. Далее мы ограничимся простейшим случаем – электрически нейтральной и невращающейся ЧД (черной дырой Шварцшильда), не будем также учитывать излучение Хокинга. Гравитационный радиус ЧД Шварцшильда просто пропорционален массе M дыры: $R = 2GM/c^2$, где G – гравитационная постоянная, c – скорость света. Как известно, в процессе эволюции площадь горизонта событий ЧД никогда не уменьшается (теорема Хокинга), поэтому для такой дыры мы получаем в свое распоряжение универсальный, монотонно изменяющийся *маркер времени* эволюции ЧД – ее размер, притом заведомо общий как для внешнего, так и для внутреннего наблюдателя.

Рассматривая достаточно большой (в космологическом смысле) отрезок эволюции такой ЧД, мы можем *параметризовать* (с помощью глобального размера) множество ее последовательных состояний¹, и результат этой параметризации будет *одинаковым* для внутреннего и внешнего наблюдателя. С этим вполне согласуется и известный характер связи между энтропией ЧД и площадью ее горизонта. Любые другие системы отсчета времени тем или иным способом могут быть увязаны с выбранной нами системой отсчета.

Уравнения эволюции для внутренней области черной дыры

Предложенный нами выбор временной координаты позволяет дать полное описание эволюции ЧД с помощью обычных уравнений Эйнштейна-Фридмана, где в одной части стоит тензор энергии-импульса, а в другой – тензор, характеризующий геометрию пространства-времени. В нашем распоряжении оказываются две координаты – текущий глобальный радиус R черной дыры и однозначно связанный с ним ее космологический возраст, который мы положим равным $t = R/c$, где c – размерный коэффициент, равный скорости света.

Предполагая достаточно полную пространственную однородность ЧД, уравнения Эйнштейна-Фридмана для процесса ее эволюции можно записать в обычной форме:

$$\begin{aligned}k(c/R)^2 + (R'/R)^2 - 2(R''/R) &= -8\pi GP/c^2 \\ k(c/R)^2 + (R'/R)^2 &= 8\pi G\rho/3,\end{aligned}$$

где G – постоянная в законе всемирного тяготения Ньютона, ρ – средняя плотность, P – давление материи внутри ЧД, $k = 1$ (в данном случае предполагаем положительную кривизну). Штрих здесь обозначает дифференцирование по времени.

Далее, ЧД возникла в процессе коллапса, т.е. при весьма высокой плотности составляющей ее материи. До коллапса эта высокая плотность обеспечивала высокую же величину давления материи внутри “предка” ЧД, поэтому у нас нет никаких оснований полагать, как это иногда делается, что давление материи внутри ЧД равно нулю. Как мы увидим, именно отказ от заведомого равенства давления нулю, а также от априорного выбора знака этого давления, является решающим фактором при получении нужного решения.

¹ Концепция параметрического времени как меры изменчивости объекта произвольного типа сформулирована в работах А.П. Левича [Левич, 1989, 2003, 2004].

И, наконец, самое главное. При интегрировании уравнений Эйнштейна-Фридмана во времени необходимо рассмотреть вопрос о сохранении или несохранении полной энергии ЧД. Поскольку по определению выбранной нами временной координаты масса ЧД монотонно эволюционирует (заведомо не уменьшается), *закон сохранения полной энергии и массы ЧД не может быть использован*. Таким образом, ЧД следует рассматривать как открытую систему (точнее, как полуоткрытую, ограниченную полупроницаемой мембраной). Это согласуется и с тем, что для каждого выбранного значения размера (т.е. массы ЧД) геометрические характеристики ЧД (глобальная внутренняя кривизна пространства) иные, т.е. в процессе эволюции выбранной нами временной координаты заведомо *не выполняются условия теоремы Нетер*.

Поскольку в рассматриваемом случае $R' = c$, $R'' = 0$, то уравнения легко решаются. Следует отметить, что мы непосредственно можем выразить плотность и давление материи в виде зависимостей от кривизны пространства:

$$\rho = 3c^2 / (4\pi GR^2)$$

$$P = -c^4 / (4\pi GR^2)$$

причем уравнение состояния для внутренней области ЧД имеет вид:

$$P = -\rho c^2 / 3.$$

Особенности найденного решения

Как и следует из сделанных допущений ($R' = c$), мы получили решение для непрерывно расширяющегося мира ЧД. Для этого мира возникает свой “параметр Хаббла” $H = c/R$, обратно пропорциональной радиусу (и возрасту) ЧД.

Поскольку мы не полагали давление заведомо равным нулю, то получили следующий результат: решение отвечает *положительной* кривизне 4-сферы, при этом средняя плотность внутри ЧД *всегда* равна $\rho = 2\rho_{кр}$, где $\rho_{кр} = 3H^2 / (8\pi G)$ – критическое значение для плоской метрики в модели Эйнштейна-Фридмана. Соответственно, масса ЧД, равная произведению средней плотности на ее объем, в конечном счете оказывается пропорциональной первой степени глобального радиуса кривизны R (размеру ЧД) и времени, как и было принято.

В этом решении не предполагается наличия ненулевой космологической постоянной Λ . Вместо этого в решении фигурирует изменяющееся со временем отрицательное давление P , которое обуславливает (заранее предположенное) линейное относительно времени расширение ЧД. Таким образом, заведомо исключается возможность неравномерного (т.е. ускоренного или замедленного) расширения ЧД. В ходе расширения не возникает так называемой проблемы “горизонта”, т.к. скорость удаления горизонта событий в точности совпадает со скоростью расширения ЧД.

Для описанной модели расширяющейся ЧД с течением времени все ее “покоящиеся” в пространстве точки должны взаимно удаляться одна от другой. Иными словами, в каждой ее пространственной точке неизбежно должна возникнуть абсолютная система отсчета, соответствующая истинному состоянию покоя. И если какое-либо материальное тело внутри ЧД с течением времени перемещается относительно положения “истинного” покоя, то это перемещение в принципе должно быть доступно для экспериментального определения.

Необходимость существования белой дыры внутри расширяющейся ЧД

Итак, мы имеем дело в нашей Вселенной с некоторой расширяющейся ЧД, которую можно в шутку уподобить мешку от работающего пылесоса, или, более строго – “энергетическому насосу”, непрерывно втягивающему в себя энергию и материю из нашей Вселенной. Как и любая черная дыра, она предстает внешнему наблюдателю в виде горизонта событий, изнутри которого никакая информация не может такого наблюдателя достичь. А что “видит” наблюдатель, находящийся внутри ЧД?

Наблюдатель расположенный внутри ЧД (по крайней мере, электрически нейтральной и невращающейся), в принципе смог бы наблюдать в своем (расширяющемся во времени) мире непрерывное поступление материи/или излучения, или то, что естественно ассоциировать с “белой” дырой (БД).

Возможная связь между ЧД и БД представляет собой интересный вопрос. Ясно, что ЧД в нашей Вселенной (если они вообще существуют) либо существуют с первых мгновений ее существования (“вечные” ЧД), либо возникли в дальнейшем (ЧД со звездными массами и сверхмассивные ЧД в центрах галактик², а также все прочие гипотетически возможные случаи, например, квантовые ЧД).

В монографии [Новиков и Фролов, 1986] белые дыры определяются достаточно формально, как аналог решения для ЧД, но с расширяющейся (а не сжимающейся) Т-областью. Там утверждается, что это формально соответствует расширению шара из-под сферы Шварцшильда, но что при этом нельзя сказать, что сначала была сингулярность, а потом из нее начало расширяться вещество шара. Эти события не связаны времениподобным интервалом, поэтому просто констатируется, что природа пространственноподобной сингулярности такова, что она порождает расширение вещества в вакууме. В заключение делается вывод, что БД не могут возникать во Вселенной в результате коллапса какого-нибудь объекта, но в принципе могли существовать в расширяющейся Вселенной с самого начала ее расширения (вечные белые дыры). Говорится также, что и одиночные вечные черные дыры не существуют, они могут существовать только в паре с вечными белыми дырами.

Как видим, приведенная интерпретация феномена БД несколько отлична от нашей. В частности, наше представление опирается на концепцию эволюции внутреннего мира ЧД и может не предполагать существования “вложенных” черных дыр, но с необходимостью влечет существование по крайней мере одной “вечной” БД, из которой в этот мир поступает материя и/или энергия.

Еще более интересен вопрос о том, какой именно видит внутренний наблюдатель эту “материнскую” БД (своего рода пуповину, связывающую расширяющуюся ЧД с нашей Вселенной). Здесь можно говорить о двух гипотетических возможностях.

Согласно первой из них БД выглядит как сферическая область где-то внутри ЧД, своего рода “центр вселенной” для нее. Картина похожа на вид ЧД, наблюдаемой извне – горизонт событий, только являющийся вечным производителем (а не потребителем) информации. Эта картина согласуется с гипотезой внешнего наблюдателя о том, что черная дыра имеет сходное внутреннее топологическое строение (в частности, образует 3-мерное метрическое пространство), что и окружающий ее мир.

² Имеются сведения о сверхмассивной ЧД в центре галактики с массой от 3 до 5 миллионов солнечной и скоростью поглощения внешней материи до двух масс Земли в час [<http://lenta.ru/news/2009/05/28/blackhole/>].

Однако обратим внимание на то, что для внешнего наблюдателя ЧД предстает своей двумерной ограничивающей поверхностью горизонта событий, и что ее энтропия (а значит, множество ее возможных состояний) определяется исключительно площадью этой поверхности, а не объемом ЧД. Можно сказать, что ЧД – это дыра в нашем пространстве, и что под горизонтом событий (двумерной поверхностью) просто *ничего нет*, поэтому-то энтропия данного объекта не пропорциональна объему соответствующей трехмерной области. Следовательно, появляется другая гипотетическая возможность – при мысленном переходе через горизонт ЧД размерность ее внутреннего мира понижается на единицу, а для внутреннего наблюдателя ЧД *каждая точка* ее внутреннего пространства граничит с материнской вселенной. Иными словами, белая дыра и горизонт событий для такого наблюдателя распределены повсеместно. В каждой точке его вселенной непрерывно рождаются энергия (аналог фонового космического излучения?) и информация, и процесс этот происходит на фоне равномерного расширения этой вселенной. Более того, такое соприкосновение в каждой точке ЧД с “внешним миром” в принципе могло бы поддерживать эффекты нелокального (с точки зрения наблюдателя в ЧД) взаимодействия.

“Внутренние” черные дыры

Предположим теперь, что мы рассматриваем некоторую расширяющуюся ЧД (будем называть ее “материнской” вселенной), внутри которой могут возникать и расширяться “дочерние” черные дыры. Действительно, хотя средняя плотность материи внутри материнской вселенной составляет $2\rho_{кр}$, распределение этой материи по объему может быть весьма неоднородным, так что протяженные “пустые” области могут соседствовать с компактными коллапсирующими объектами.

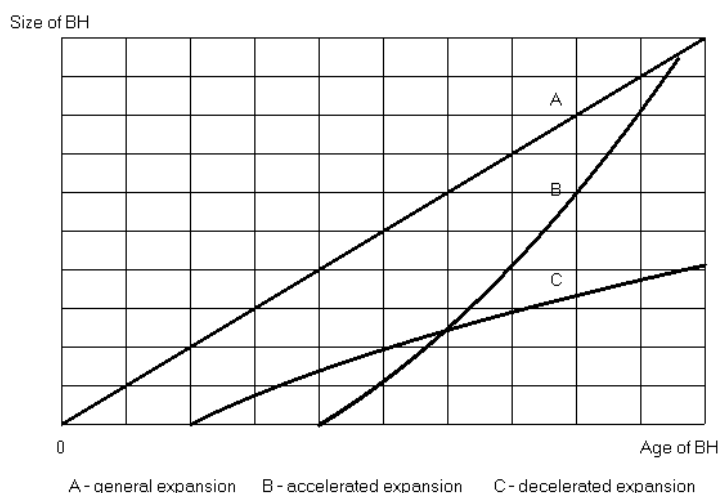


Рисунок 1.

Зависимость размер – возраст для “материнской” (A) и “дочерних” (B, C) черных дыр

Зависимость размера от возраста для материнской вселенной по определению является линейной (кривая A на рис. 1). Что касается дочерних ЧД, то они могут возникнуть (в результате коллапса) в различные моменты времени “по часам” материнской вселенной и иметь, вообще говоря, различный темп роста, в частности – ускоренный (кривая B) или замедленный (кривая C), то есть их собственные шкалы “параметрического” времени с точки зрения шкалы материнской вселенной могут различаться. Замедленно расширяющиеся

“внутренние” ЧД не так интересны, в то время как ускоренно расширяющиеся дыры рано или поздно должны сравняться по размерам с материнской вселенной, т.е. “поглотить” ее.

Заключение

Подведем итоги. Мы рассматриваем черные дыры, возникшие в нашей Вселенной после Большого Взрыва и эволюционирующие (за счет роста массы) в ходе дальнейших космологических этапов. Мы предлагаем для таких дыр ввести специальное “параметрическое” время (текущий космологический возраст черной дыры), однозначно связанное с текущим радиусом горизонта событий черной дыры с помощью размерного множителя – скорости света. Эволюция ЧД в таком времени описывается обычными уравнениями Эйнштейна-Фридмана, однако с учетом двух обстоятельств. Во-первых, мы считаем слишком ограничительным априорный отказ от ненулевого (в том числе и отрицательного) давления внутри ЧД. Во-вторых, поскольку масса ЧД растет за счет поглощения извне материи и энергии, при интегрировании уравнений недопустимо использование закона сохранения материи/энергии. Полученное “креационистское” решение описывает расширяющийся мир внутри ЧД, в известной мере напоминающий картину, которая предстает перед наблюдателем в нашей Вселенной.

Исторически автор настоящей публикации с 1993 года развивал концепцию времени, обусловленного именно расширением нашей Вселенной, и вышеупомянутое решение было получено для нее же [Шульман, 2007]. Однако любая полемика с научным сообществом упиралась в тезис об отказе использовать закон сохранения энергии для Вселенной в глобальном космологическом масштабе, т.е. в возможность рассматривать нашу Вселенную не как замкнутую систему. Лишь постепенно я осознал, что наша Вселенная гипотетически может представлять собой нечто вроде черной дыры, куда материя и/или энергия действительно закачивается извне (спекуляции о дальнейшей иерархии черных дыр я оставляю в стороне). Не знаю, покажется ли новая точка зрения убедительной представителям официальной науки.

Литература:

[Левич, 1989] Левич А.П. Метаболическое время естественных систем. Академия наук СССР. Всесоюзный НИИ системных исследований. Системные исследования. Методологические проблемы. Ежегодник 1988. Издательство “Наука”, М., 1989. Доступно по ссылке:

http://www.chronos.msu.ru/RREPORTS/levich_sistemnye.djvu

[Левич, 2003] Левич А.П. Метаболический и энтропийный подходы в моделировании времени. Доступно по ссылке:

http://www.chronos.msu.ru/RREPORTS/levich_metabolichesky/levich_metabolichesky.htm

[Левич, 2004] Левич А.П. Почему выполняются экстремальные принципы для энтропии и времени? В сб.: Пространство и время: физическое, психологическое, мифологическое. М.: КЦ “Акрополь”. 2004. С. 87-94. Доступно по ссылке:

http://www.chronos.msu.ru/RREPORTS/levich_pochemu.htm

[Новиков и Фролов, 1986] Новиков И.Д., Фролов В.П. Физика черных дыр. Москва, Наука, 1986.

[Шульман, 2007] Шульман М.Х. *Космология: новый подход*. Доступно по ссылке:

http://www.timeorigin21.narod.ru/rus_time/New_approach.pdf