



*Прочти и передай другому!*

# ЧЁРНЫЕ ДЫРЫ:

## КОНЕЦ И НАЧАЛО

В 1916 году 43-летний астроном и физик **Карл Шварцшильд**, доброволец Первой мировой, умиравший во фронтовом госпитале в России от пузырчатки, опубликовал первое точное решение уравнений Эйнштейна, показав, что каждая точечная масса в пустоте окружена областью, из которой ничто, даже свет, не может выйти, хотя извне туда путь открыт.

Радиус этой области  $R_{ш} (м) = 1,48 \cdot 10^{-27} \cdot M (кг)$ .

Для любых известных тогда физических объектов, даже для звёзд, радиус Шварцшильда был в сотни тысяч раз меньше их реальных размеров, и долгое время казалось, что эта формула – просто теоретическая абстракция. Но перед второй великой войной 35-летний **Роберт Оппенгеймер** и его аспирант 26-летний **Хартланд Снайдер** выяснили, что при сжатии определённого типа звёзд возможно их уплотнение практически до размеров радиуса Шварцшильда (хотя в том же 1939 году Эйнштейн опубликовал одну из своих редких ошибочных статей о невозможности объектов, соответствующих решению Шварцшильда).

В статье Оппенгеймера и Снайдера говорилось и о том, что если описывать процесс в координатах не извне, а изнутри звезды, то процесс уплотнения не станет замедляться при приближении к радиусу Шварцшильда, а продолжится и во внутреннюю его сферу.

Но вскоре Оппенгеймеру пришлось возглавить атомный проект, а Снайдер ушёл в разработку квантового пространства-времени, и лишь в 1958 году, когда уже три года как умер Эйнштейн (сердечная недостаточность), 29-летний **Дэвид Финкельштейн** корректно и наглядно показал, что разительно отличающиеся области внутри и вне сферы Шварцшильда объединены в одном пространстве-времени.

Его ясно написанная статья\* открыла то, что крупнейший авторитет в гравитации **Кип Торн** назвал «золотым веком» в теоретическом осмыслении и изучении чёрных дыр.

Сам термин «чёрная дыра» вошёл в широкий оборот с конца 1960-х с лёгкой руки выдающегося физика **Дж. Уилера**, когда умерли и Снайдер (1962, сердечный приступ) и Оппенгеймер (1967, рак гортани). Никто так и не вспомнил никогда, кто же, собственно, изобрёл этот удачный ярлык. Кстати, в тех же 1960-х научились лечить пузырчатку, превращавшую человека в распадающуюся массу слизи и гноя.

А в начале 1970-х ещё не совсем обездвиженный 30-летний англичанин **Стивен Хокинг** совершил настоящую революцию, установив, что чёрные дыры постоянно излучают энергию и за счёт этого теряют массу ( $E = m \cdot c^2$ ).

Тогда же были получены оценки плотности, размеров и массы всей видимой Вселенной, и они оказались таковы, что Вселенная вполне могла оказаться чёрной дырой. (Этот вопрос, поднятый в 1972 г. независимо 39-летним индусом **Раджем Патриа** и 56-летним англичанином **Ирвином**

**Гудом**, остаётся в повестке дня.)

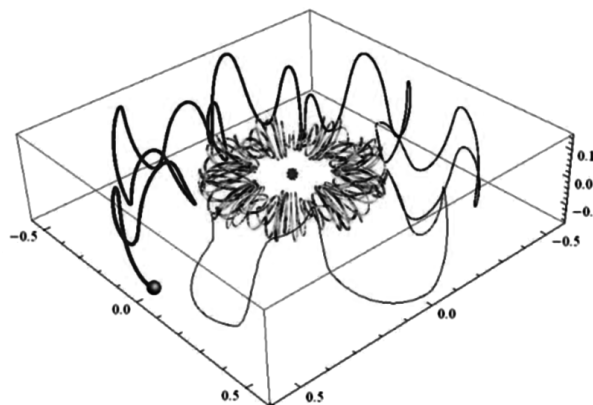
Интерпретация понятия «чёрная дыра» ещё не вполне устоялась. По-видимому, это некое особым образом организованное пространство (точнее, пространство-время), окружённое чем-то вроде границы, отделяющей его от обычного пространства-времени.

Из-за границы (её называют **горизонтом событий**, или просто горизонтом, иногда – размером дыры) ничто не может выйти, и, по некоторым толкованиям, там вообще не наша (или не совсем наша) Вселенная. И за границу ничто не может из нашего мира уйти, потому что при приближении к границе после точки  $r = 2R_{ш}$  время (и, значит, скорость) замедляется – в пределе (на самой границе) до нуля. То есть на достижение границы нужна **вечность**.

Однако один из парадоксов чёрной дыры состоит в том, что это выглядит так лишь для **внешнего** наблюдателя, который следит за падением некоторого тела в дыру. А по часам самого падающего тела оно пересекает границу за весьма небольшое время, не замечает в момент пересечения ничего особенного и спокойно продолжает двигаться вглубь дыры, в изменённое пространство-время.

В частности, координата пути там приобретает свойства координаты времени, и внутренние процессы в дыре начинают существенно зависеть от событий, происходящих по нашу сторону границы, причём происходящих не сейчас, а **во всей совокупности будущих её эпох**. Не слабо, да? (Желающим подробнее ознакомиться с этой экзотикой стоит найти в Сети прекрасный обзор И. Д. Новикова и В. П. Фролова «Чёрные дыры во Вселенной»\*.)

Пикантно, что при этом в дыре можно даже... жить(!): найдены\*\* стабильные орбиты планет и фотонов (внутренняя на рис.) внутри горизонта, менее  $0,5R_{ш}$  от центра:



\* Успехи физических наук, 2001, № 3, <http://ufn.ru/ru/articles/2001/3/e/> или [http://wsyachina.narod.ru/astronomy/blackhole\\_5.html](http://wsyachina.narod.ru/astronomy/blackhole_5.html)

\*\* V. I. Dokuchaev. Life inside black holes. [Grav. Cosmol., vol. 18, pp. 65-69, 2012 или <http://arxiv.org/pdf/1203.0878.pdf>]

\* <https://www.physics.gatech.edu/files/u9/publications/0003.pdf>

**КОНЕЦ**

Итак, понятно, что в данном случае начать придётся с конца. Чёрные дыры умирают из-за **излучения Хокинга**. Оно возникает строго на горизонте дыры из-за того, что в каждой точке вакуума постоянно рождаются-исчезают виртуальные пары частица-античастица. Но в обычных точках они тут же сливаются и исчезают, а на границе какая-то часть этих половинок возникает **внутри** дыры и по определению слиться обратно со своей второй половинкой, которая **снаружи**, уже не может. Эти-то внешние половинки, ставшие вдруг из виртуальных реальными, и образуют излучение дыры.

Поскольку статистически число возникших снаружи частиц состоит поровну из материи и антиматерии, то тут же происходит аннигиляция, и наружу летят в основном фотоны. Для дыр массой до квадриллиона тонн (это масса крупного астероида порядка 100–150 км в поперечнике – но дыра такой массы должна уместиться в размерах небольшой молекулы) излучение идёт в основном в форме **жёстких гамма-лучей**, для дыр большей массы оно быстро смягчается.

Дыра массой с микропланету диаметром 300–400 км ( $2,1 \cdot 10^{19}$  кг, или 21 квадриллион тонн при радиусе  $4,6 \cdot 10^{-8}$  м, размер вируса) излучает в УФ, видимом и ИК диапазонах, точно как Солнце. А излучение дыр массой с Луну и выше уходит во всё более длинные радиоволны (для дыры массой Луны с радиусом горизонта 0,11 мм ~99% излучения приходится на волны длиной 0,6–9 мм, с максимумом при 1,8 мм).

Мощность излучения  $L = 3,57 \cdot 10^{32} / M^2$ , время полного испарения  $t = 8,4 \cdot 10^{-17} \cdot M^3$  (здесь и далее все указанные размерности даны в системе СИ – кг, м, с, Дж, Вт и т. д.). Максимум излучения приходится на волну длиной **15,9 Рш**, диапазон ~99% мощности излучения охватывает интервал **от 5,7 до 80 Рш**, что немного парадоксально, потому что полуволны такого излучения ( $\lambda \gg Rш$ ) лежат почти целиком в области не квантовой, и даже не релятивистской, а практически ньютоновской физики. Если в некоторый момент масса дыры  $M_1$ , то через время  $t$  она за счёт излучения уменьшится до величины  $M_2 = (M_1^3 - 1,19 \cdot 10^{16} \cdot t)^{1/3}$ . Что будет в конце, об этом физики ещё полемизируют: либо дыра превращается в излучение нацело, либо остаётся дыра-микрочастица некоей квантово-минимальной массы ( $\sim 2 \cdot 10^{-8}$  кг), в каком-то стабильном состоянии и существует до конца времён.

Если вести отсчёт в **обратных единицах времени**, показывающих, сколько осталось до полного испарения дыры, то картина будет **абсолютно одинаковой для всех дыр**. Вот она:

за миллиард лет до конца	масса дыры (какой бы она ни была изначально) в этот момент около 72 млн. тонн (как у астероида ~4 км поперечником)	радиус горизонта – меньше ядра атома, мощность гамма-излучения – 69 ГВт (сравнимо с выдчей энергии от 70 блоков АЭС)
за миллион лет до конца	масса дыры – 7,2 млн. т	мощность излучения – 6,9 ТВт (близко к мощности всех электростанций мира)
за тысячу лет до конца	масса – 720 тыс. т	мощность – 687 ТВт (0,1% падающей на Землю солнечной энергии, или в 17 раз больше, чем собственное тепловыделение Земли)

за сто лет до конца	масса – 335 тыс. т	мощность – 3190 ТВт
за десять лет до конца	масса – 155 тыс. т	мощность – 14800 ТВт
за год до конца	масса – 72 тыс. т	мощность – 68700 ТВт
за месяц до конца	масса – 31,3 тыс. т	мощность – 364 тыс. ТВт (половина падающей на Землю солнечной энергии)
за неделю до конца	масса – 19,3 тыс. т	мощность – 960 тыс. ТВт
за день до конца	масса – 10 тыс. т	мощность – 3,5 млн. ТВт
за час до конца	масса – 3,5 тыс. т	мощность – 29,2 млн. ТВт
за минуту до конца	масса – 893 т	мощность – 44,8 млн. ТВт
за секунду до конца	масса – 228 т	мощность – 6,87 млрд. ТВт (такую мощность на $10^{-7}$ сек. развивает ядерный взрыв мощностью 150 кт, но здесь она излучается непрерывно)
за миллисекунду до конца	масса – 22,8 т	мощность – 687 млрд. ТВт (0,2% полной мощности Солнца)
за микросекунду до конца	масса – 2,28 т	мощность – 68,7 трлн. ТВт (17% полной мощности Солнца)

**НАЧАЛО**

Обычно подразумевается, что некая большая масса сжимается – и становится чёрной дырой. Однако с этим есть две трудности: во-первых, для внешнего наблюдателя сжатие за горизонт никогда не завершится, и дыра не образуется; во-вторых, есть более тонкие проблемы, связанные с тем, что при уходе за горизонт чего-то материального из нашего мира происходит неприятный для теоретиков дисбаланс информации и возникают ещё кое-какие нежелательные сложности.

Всё становится проще, если вначале образуется пустой **горизонт** – особая область пространства-времени, готовая принять массу  $M$  в объём  $V = 1,36 \cdot 10^{-80} \cdot M^3$ . Горизонты могли возникнуть в первые мгновения после Большого взрыва, когда никакого вещества ещё не было, а с пространством-временем происходили вещи просто запредельные. Дыры, рождавшиеся из горизонтов по мере нахождения подходящей для заполнения окружающей среды, справедливо именуются **первичными** и являются **древнейшими ныне существующими объектами Вселенной**.

Но здесь опять не обойтись без парадоксальных свойств чёрных дыр, а именно – их **«перевёрнутой причинности»**. То, что с ними происходит (в том числе и их рождение), обусловлено... **бесконечно далёким будущим!** (На практике, наверное, всё же конечным, учитывая конечный срок их жизни из-за испарения, но ключевое слово остаётся – Будущим.) Вот что пишет в одной из новейших своих работ 80-летний авторитет в гравитации **Дитер Брилл**: «Что возникает первым, высокая плотность массы и энергии, вызывающая горизонт, или горизонт чёрной дыры, который материя должна пересечь для завершения своего неизбежного коллапса? У этого,

казалось бы, похожего на проблему курицы и яйца, вопроса есть ответ: горизонт возник первым и был готов, чтобы материя упала сквозь него по достижении достаточной концентрации. <...> Причина такого странного поведения коренится в самом определении горизонта чёрной дыры, основанном на будущем пространства-времени, в котором он существует. <...> Нельзя точно локализовать горизонт, не зная всю будущую историю пространства-времени: чтобы быть уверенным, что событие вне горизонта, нужно проверить, можно ли удалиться по времениподобной мировой линии (упрощённо говоря – по оси времени. – *Е. Ш.*) от данной точки на произвольно большое расстояние, что требует произвольно большого времени».\*

Для простейшей дыры Шварцшильда (точка с массой без вращения и заряда) горизонт возникает из точки и растёт со скоростью света до того момента, когда в нём не окажется нужная масса (а именно  $M = 6,76 \cdot 10^{26} \cdot R_{ш}$  или  $M = 2,03 \cdot 10^{35} \cdot t$ , учитывая, что  $R_{ш} = c \cdot t$ ), после чего его рост останавливается. Но это **очень нетипично**.

В общем же случае, как подытоживает Брилл, набор возмущений, порождающий горизонт, имеет структуру **дерева**, чьи остроскопические ветвления распространяются в пространстве **со сверхсветовой скоростью**, постепенно замедляясь и сглаживаясь по мере прорастания в менее искривлённые области пространства-времени, и когда скорость падает до световой, сливаются в гладкий горизонт.

Массы первичных дыр могут быть очень разными: от минимально разрешённой квантовыми законами (~0,02 мг) и до сотен тысяч солнечных масс, т. е. верхней границы, откуда начинаются галактические большие дыры – те, которые, по убеждению большинства астрономов, сияют жёстким излучением пожираемого вещества в центрах практически всех галактик. (Правда, нет никаких наблюдений дыр массами от ~50 до ~10.000 солнечных.)

Исходя из простой логики, что мелкой квантовой флуктуации легче образоваться, чем крупной, физики ожидают, что у первичных чёрных дыр должно быть степенное распределение численности в зависимости от массы:  $dN/dM = A/M^q$ . Показатель степени  $q$  может быть порядка 1,5\*\*.

Однако в наши дни все первичные дыры легче **173 млн. тонн** уже успели испариться за счёт излучения Хокинга, а близкие к ним – похудели:

- со 174 млн. т – до 42,7,
- со 180 – до 86,3,                      с 300 – до 279,
- с 200 – до 141,                          с 500 – до 493, и т. д.

Дыры начальной массой от 1 млрд. т и выше практически не изменились.

В последние годы всё больше теоретиков обращаются к первичным дырам, чтобы разрешить те или иные трудности в картине мироздания. Здесь нам не обойтись без краткого экскурса в первые мгновения жизни Вселенной.

\* «What came first, high density of mass and energy to cause a horizon, or a black hole horizon that matter had to cross to complete its irrevocable collapse? What seems like a chicken-and-egg problem does have an answer: the horizon came first and was ready for matter to fall through it when it reached sufficient concentration. <...> The reason for this odd behavior lies in the very definition of a black hole horizon, which is based on the future of the spacetime in which it lives. <...> One cannot exactly locate the horizon without knowing the entire future history of the spacetime: to be sure that an event is outside the horizon, one must verify that it is possible to escape by a timelike worldline from that point to arbitrarily large distances, taking an arbitrarily large time». [D. Brill. Black Hole Horizons and How They Begin. [http://s3.amazonaws.com/presspublisher-do/upload/3419/Black\\_Hole\\_Horizons\\_and\\_How\\_They\\_Begin.pdf](http://s3.amazonaws.com/presspublisher-do/upload/3419/Black_Hole_Horizons_and_How_They_Begin.pdf)]

\*\* Marcus Woo. Primordial Black Holes and Their Mass Spectrum (Spring 2005) [<http://www.physics.umd.edu/grt/taj/776b/woo.pdf>]

По последним представлениям большинства физиков мир возник как быстро расширяющееся («распухающее» в каждой точке) пространство-время, в котором вначале была скорее энергия. (Но мы знаем, что энергия – это практически та же масса:  $E = m \cdot c^2$ .)

По поводу первых примерно  $10^{-31}$  сек. единства взглядов пока нет, но для нашей темы это не критично: сейчас на примере одной из версий мы убедимся, что если тогда и образовывались чёрные дыры, то лишь весьма короткоживущие, испарявшиеся за доли секунды и на дальнейшие события практически не повлиявшие.

Будем рассматривать версию, а точнее, искусственную комбинацию разных версий, выбирая условия так, чтобы максимально подыгрывать возможности образования чёрных дыр. Получится примерно следующее.

По истечении ~ $10^{-43}$  сек. родились частицы и выделилась в отдельную силу гравитация, а значит, теоретически стало возможным и рождение чёрных дыр. Тут, правда, во всех версиях надо держать в уме одно важное ограничение. Что бы то ни было в физическом мире может быть взаимосвязано лишь в пределах так называемой **световой сферы**. При рождении мира из каждой его точки как бы начинает расширяться область со скоростью света, и только внутри этой области отдельные её части могут вступать во взаимодействия и вообще как-то «осознавать» друг друга. За пределами световой сферы материя есть, но она недостижима, невидима и практически «не существует» или «не проявилась» для материи внутри сферы.

(Само пространство-время распухает на старте мироздания быстрее скорости света, так как на него эйнштейновский предел скорости света не распространяется: оно нематериально).

Отсюда понятно, что образование чёрных дыр размерами больше световых сфер **абсолютно запрещено**.

За  $10^{-43}$  сек. радиус световой сферы в любой точке Вселенной достигал  $3 \cdot 10^{-35}$  м. Это всего две планковские длины, а на расстояниях меньше планковской длины формулы Эйнштейна перестают работать. Но примем, что в данном случае они работают. Однако этого мало! Чтобы в световой сфере возникла чёрная дыра, нужно соблюсти не просто условие «большая масса в малом объёме». В формуле Шварцшильда фигурирует, строго говоря, не полная масса  $M$ , заключенная в объёме горизонта дыры, а **гравитирующая масса**  $M_g = M - M_{ф}$ , где  $M_{ф}$  – фоновая масса, т. е. масса, которую имел бы объём дыры, заполненный веществом фоновой (окружающей) плотности. То есть **плотность внутри дыры** (выражение, строго говоря, некорректное, но общий смысл рассуждений не слишком искажает) должна быть выше, и даже **существенно выше фоновой (окружающей) плотности**.

А в этот момент эволюции фоновая плотность такова, что выше-то и некуда, порядка  $5 \cdot 10^{96}$  кг/м<sup>3</sup>. Это максимальная, так наз. планковская, плотность  $\rho_{п}$ , за пределами которой перестаёт работать известная физика.

Однако с течением времени плотность падает, мы можем принять, что это описывается законом:  $\rho = \rho_{п} \cdot (10^{-43}/t)^q$ . В момент времени  $t$  световые сферы имеют радиусы  $3 \cdot 10^8 \cdot t$  и содержат по  $1,13 \cdot 10^{26} \cdot t^3 \cdot \rho = 5,65 \cdot 10^{122} \cdot (t/10^{-43})^{3-q}$  кг вещества. Пусть дырой из него станет некая часть, которую выразим через безразмерный коэффициент (долю)  $k$  ( $0 < k < 1$ ):  $M_{ш} = 5,65 \cdot 10^{122} \cdot (t/10^{-43})^{3-q} \cdot k$ . Радиус такой дыры равен  $8,36 \cdot 10^{95} \cdot (t/10^{-43})^{3-q} \cdot k$ . Плотность вещества в дыре  $\rho_{ш} = (2,31 \cdot 10^{-166}/k^2) \cdot (10^{-43}/t)^{6-2q}$ . Из требования  $\rho_{ш} \gg \rho$  можно получить выражение:  $k^{2/3} \cdot (t/10^{-43})^{2-q} \ll 3,59 \cdot 10^{-88}$ . Величина  $t/10^{-43} > 1$ , и при  $q \leq 2$  ею

можно пренебречь (она лишь усиливает неравенство). Тогда мы получаем абсурдно малое значение  $k \ll 6,8 \cdot 10^{-132}$ . Но и при  $q > 2$ , когда неравенство удобнее переписать в виде  $k^{2/3} \ll 3,59 \cdot 10^{-88} \cdot (t/10^{-43})^{q-2}$ , лучше не становится. Слишком большим значение  $q$  на этом этапе жизни Вселенной ни в одной модели не является, как и отношение  $t/10^{-43}$ : максимум 12 порядков. Получается, что по модулю показатель степени -132 уменьшится самое большее на несколько десятков, но даже требование  $k \ll 10^{-100}$  нереально (всё число частиц во Вселенной имеет порядок  $\sim 10^{81}$ !). Таким образом, в начальный период жизни Вселенной, как минимум до  $\sim 10^{-31}$  сек., чёрные дыры, скорее всего, вообще не образуются: слишком высока фоновая плотность. И в эти крохотные отрезки времени ещё столь малы световые сферы, что даже если бы дыры и могли родиться, они были бы так малы по массе, что стремительно испарялись бы за доли секунды.

Но фоновая плотность, как полагают многие теоретики, могла на десятки порядков упасть в следующий, так называемый **инфляционный период** расширения Вселенной. Во время этого экспоненциально быстрого раздувания пространства, длившегося, по разным оценкам, до времён порядка от  $\sim 10^{-35}$  до  $\sim 10^{-31}$  сек., не только не было условий для образования чёрных дыр, но даже и всё гипотетически образовавшееся ранее вещество было «съедено» — перешло в энергию. Так что эволюция чёрных дыр после окончания эпохи инфляции, по сути дела, началась заново (как и всей материи вообще).

Исходя из взглядов Д. Брилла, цитированных выше, можно предположить, что все дыры образуются очень быстро (даже со сверхсветовой скоростью!) в размерах, которые увязаны с текущей фоновой плотностью:  $\rho_{\text{ш}} = \rho/\omega$  (здесь  $\omega$  — безразмерный коэффициент от 0 до 1, характеризующий контраст плотностей, необходимый для образования дыры). Плотность дыры Шварцшильда связана с её параметрами в момент образования:  $\rho_{\text{ш}} = 2,44 \cdot 10^{79}/M_{\text{г}}^2 = 5,34 \cdot 10^{25}/R_{\text{ш}}^2$ , где  $M_{\text{г}} = M - 4,19 \cdot R_{\text{ш}}^3 \cdot \rho$ . Считается, что и реальные, гораздо более сложные дыры, хотя бы с точностью до порядка подчиняются этим простым выражениям.

До возникновения первых гравитационных сгущений, которые, по последним взглядам, начали образовываться не ранее **300 тыс. лет** ( $\sim 10^{13}$  сек.) после Большого взрыва, Вселенная была довольно однородна, и её плотность, начиная с  $\sim 10^{-35}$  и по  $\sim 3 \cdot 10^{12}$  сек., описывается уравнением вида  $\rho = 1,74 \cdot 10^8/t^{1,91}$  (численные значения коэффициента пропорциональности и показателя степени могут меняться в разных моделях, но не принципиально). Рассмотрим случай образования чёрной дыры в момент  $t$ , лежащий внутри указанного диапазона.

Световая сфера вокруг точки образования дыры, если от-

считывать её от времени конца эпохи инфляции  $t_{\text{и}}$ , имеет радиус  $c \cdot (t - t_{\text{и}})$ . Поскольку эпоха инфляции по отношению к следующим эпохам была весьма скоротечна, довольно скоро установилось условие  $t \gg t_{\text{и}}$ , и радиусы световых сфер стали практически равны  $3 \cdot 10^8 \cdot t$ , а объёмы —  $1,13 \cdot 10^{26} \cdot t^3$ . В такой сфере заключена масса  $M_{\text{ш}} = 1,97 \cdot 10^{34} \cdot t^{1,09}$ . Пусть дыра образуется массой  $M_{\text{ш}} = k \cdot M_{\text{с}}$ , где  $k$  — безразмерный коэффициент от 0 до 1 (по данным численного моделирования 1970-х–80-х гг. он имел порядок 0,1–0,15). Тогда радиус горизонта дыры  $R_{\text{ш}} = 2,91 \cdot 10^7 \cdot k \cdot t^{1,09}$ , а её условная средняя плотность  $\rho_{\text{ш}} = 1,91 \cdot 10^{11} \cdot k^{-2} \cdot t^{-2,18}$ . Подставив  $\rho_{\text{ш}} = \rho/\omega$ , после преобразований найдём, что  $t = 1,81 \cdot 10^{11} \cdot \omega^{3,7}/k^{7,41}$ . При  $k = 0,15$  получается  $t = 2,31 \cdot 10^{17} \cdot \omega^{3,7}$ , или  $\omega = 2,03 \cdot 10^{-5} \cdot t^{0,27}$ . Из этого видно, что в ранние времена контраст плотностей ( $1/\omega$ ) был высок (возможно, доходил до 14 порядков величины), а в конце рассматриваемого периода снизился до  $\sim 0,04$ , что в принципе всё ещё подходит под условие  $1/\omega \gg 1$ .

Но, возможно, образование первичных чёрных дыр закончилось за считанные дни после Большого взрыва. Из полученных формул видно, что масса и размер дыры пропорциональны времени её рождения. Так, примерно после  $10^{-22}$  сек. начали возникать дыры массой порядка миллионов тонн, способные пережить эпоху однородности и войти в следующие эпохи. Эти дыры могли быть важны в космологии образования первых звёзд.

Примерно после  $4 \cdot 10^{-21}$  сек., среди кварк-глюонной плазмы, лептонов, фотонов и бозонов, родились дыры, дожившие и до наших дней. А в пятом часу утра первой субботы мира (или при  $t = 4,47 \cdot 10^5$  сек., в почти обыденную для нас протонную эпоху) могла родиться и самая крупная из известных чёрных дыр массой в 21 миллиард Солнц, составляющая седьмую часть массы галактики NGC 1277 в созвездии Персея в 228 миллионах световых лет от нас. Её горизонт должен быть в полтора раза больше орбиты Нептуна! Видимо, вероятность образования флуктуаций ещё более гигантских размеров исчезающе мала, почему таких мега-дыр и не замечено в космосе.

(Возможно, мега-дыра в NGC 1277 родилась и раньше, несколько меньшей массы, и выросла уже потом. Но считается, что донорство окружающей материи не слишком заметно увеличивает массу дыр. Хотя оно может примерно на треть удлинять им жизнь, замедляя процесс испарения.)

А потом сотни миллионов лет в семействе чёрных дыр не было прибавлений, пока не засветились, не отгорели и не начали катастрофически сжиматься внутрь себя первые звёзды-гиганты. Этот процесс продолжается и сейчас, хотя в наши дни звёзд подходящих масс всё меньше...

И, наконец, мы создали Большой Адронный Коллайдер...

А потом сотни миллионов лет в семействе чёрных дыр не было прибавлений, пока не засветились, не отгорели и не начали катастрофически сжиматься внутрь себя первые звёзды-гиганты. Этот процесс продолжается и сейчас, хотя в наши дни звёзд подходящих масс всё меньше...

И, наконец, мы создали Большой Адронный Коллайдер...

## А что между?

Между смертью и рождением чёрная дыра притягивает и излучает. Она может, например, пролететь сквозь Землю, чего никто, как правило, не заметит (не исключено, что такое бывало и ещё будет). Но если кто-то удачно поднимет голову к нему, то... увидит нечто зрелищное.

Астрономы обещают вот-вот показать первые фотографии горизонтов ближайших дыр. Теоретики сулят объяснить,

почему вещество вблизи одной из дыр над нашей Галактикой стопорится не около  $3 \cdot R_{\text{ш}}$ , а в 16–17 раз дальше. И почему дыра в центре Млечного пути излучает в 100 млрд. раз слабее, чем положено. С подробностями и рисунками об этом скоро можно будет прочесть на сайте [mir.k156.ru](http://mir.k156.ru) в расширенном варианте данной публикации.

А пока — с Новым годом, братцы!

Бесплатно. Учредитель, редактор: Шиховцев Е.Б. Издатель: Е. Шиховцев. Вёрстка — Е. Шиховцев.

Адрес редакции и издателя: 156000, г. Кострома, ул. Ивановская д. 33. Свид. о рег. СМИ от 05.12.96 г. № Т-0972 выдано Центральным региональным управлением Госкомпечати РФ (г. Тверь). Отпечатано на ризографе издателя. Тираж 500 экз.

Время подписания в печать: по графику — 31.12.2013, 18.00; фактически — 31.12.2013, 18.00.