

3.5.3. «Черные дыры» в рамках представлений Алсигны

3.5.3.1. Современные представления о черных дырах

Согласно современным научным представлениям, звезды представляют собой огромное скопление атомов и молекул, которое искривляет пространственно-временной континуум (т. е. порождает вокруг себя сферически симметричное гравитационное поле).

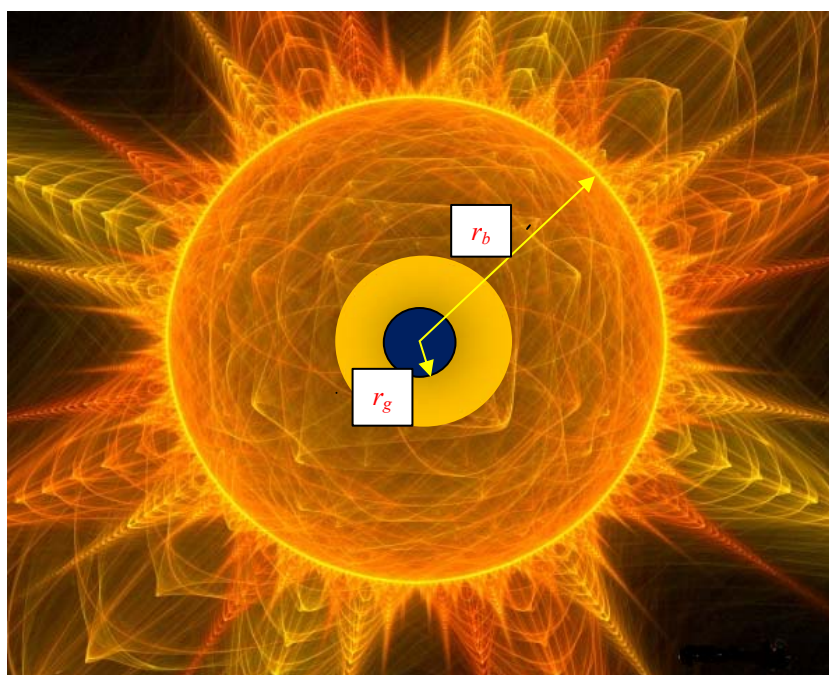


Рис. 3.5.7. Иллюстрация недр звезды, где r_b — радиус сферической границы атомно-молекулярного скопления; r_g — гравитационный радиус звезды

Считается, что, в свою очередь, гравитационное поле звезды стремится сжать атомно-молекулярную среду в центр этого космического тела. При этом в центральной области звезды гравитационная сила сжатия столь велика, что она способна вдавить атомные и молекулярные электроны внутрь протонов. В результате в недрах звезды может образоваться нейтронное ядро, т. е. локальная область, состоящая из одних только нейтронов. Одна-

ко это сразу не происходит из-за термоядерных реакций слияния ядер атомов водорода и дейтерия в атомы трития и гелия с выделением огромного количества световой и тепловой энергии. Поэтому не без серьезных оснований считается, что протекаемые в недрах Звезды ядерные реакции создают давление, препятствующее ее гравитационному сжатию, что, по мнению современного научного сообщества, и является гарантом стабильности данного космического объекта.

Такая последовательность идей приводит к неминуемому логическому выводу о том, что когда-нибудь ядерное топливо внутри звезды должно «выгореть», и это должно привести к гравитационному коллапсу (сжатию) ее поверхности с выделением огромного количества тепловой и световой энергии во внешнее космическое пространство.

По расчетам, основанным на ОТО [40], при определенных условиях то, что остается после такого грандиозного «взрыва» превращается в «белого карлика», т. е. в сравнительно небольшое, чрезвычайно плотное ядро, состоящее из одних только нейтронов.



<http://dreamworlds.ru/>

<http://apod.uni-altair.ru>

Рис. 3.5.8. Иллюстрация «взрыва» и гравитационного коллапса звезды с образованием нейтронного ядра

Ю. Оппенгеймер и Г. Снайдер в [40, 41] показали, что если общая масса холодного нейтронного ядра, оставшегося после гравитационного коллапса звезды, окажется более $0,7$ массы Солнца, то общерелятивистские уравнения {т. е. уравнение Эйнштейна – Гильберта вида (2.1.83) в [9]} не имеют статических решений. Другими словами, в этом случае гравитационный коллапс звезды должен происходить бесконечно долго.

Если в таком случае на позднем этапе сжатия пренебречь всяким покидающим звезду излучением и веществом, а также отклонениями от сферической симметрии, вызванными ее вращением, то (по мнению Оппенгеймера и Снайдера) вне границ распределения звездного вещества r_b (см. рис. 3.5.7) пространственно-временной континуум должен описываться метрикой Шварцшильда [41]

$$ds^2 = \left(1 - \frac{r_g}{r}\right) c^2 dt^2 - \frac{dr^2}{\left(1 - \frac{r_g}{r}\right)} - r^2 (d\theta^2 + \sin^2 \theta d\varphi^2), \quad (3.5.19)$$

где

$$r_g = 2m_n G / c^2 \quad (3.5.20)$$

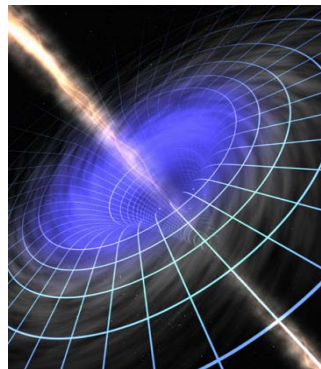
m_n – масса нейтронного ядра;

G – гравитационная постоянная ($G = 6,67 \cdot 10^{-8}$ эрг·см/г² = $7,41 \cdot 10^{-29}$ см/г);

r – радиальная координата (длина «экватора», деленная на 2π), в метрах;

c – скорость света.

Далее Оппенгеймер и его последователи рассуждали следующим образом [41]: «Поскольку давление звездного вещества недостаточно для противодействия силам собственного гравитационного притяжения звезды, она, по-видимому, начнет сжиматься, так что граница r_b неизбежно будет уменьшаться до гравитационного радиуса r_g . Локальный наблюдатель, находящийся вблизи поверхности звезды, где в любом случае давление должно быть низким, увидит, что вещество уходит внутрь со скоростью, очень близкой к скорости света. Далекому же наблюдателю это движение представится в $(1 - r_g/r_b)^{-1}$ раз более медленным. Энергия, уходящая с поверхности звезды, будет очень сильно уменьшаться в процессе коллапса за счет эффекта Доплера для удаляющегося источника, за счет гравитационного красного смещения $(1 - r_g/r_b)^{-1/2}$ и за счет гравитационного отклонения света, которое будет препятствовать уходу излучения во всех направлениях, кроме конуса с осью, образованной внешней нормалью к поверхности, раствор которого неограниченно сужается по мере сжатия звезды (см. рис. 3.5.9). Таким образом, звезда постепенно замыкается, изолируясь от далекого наблюдателя (в течение практически бесконечного периода времени). Сохраняется лишь ее гравитационное поле...».

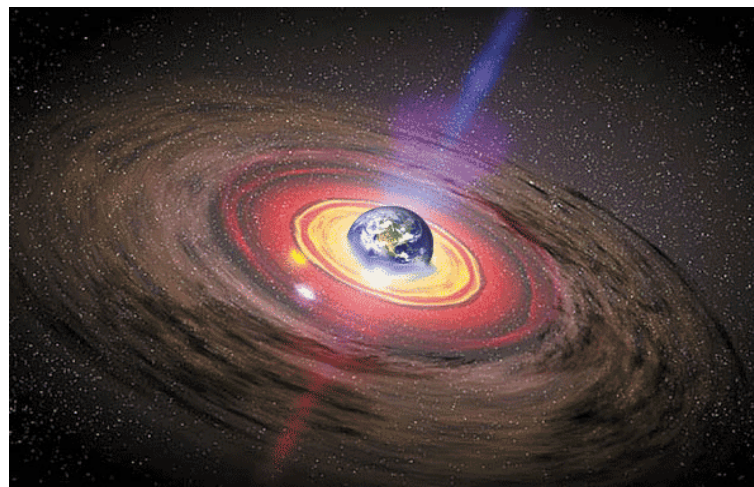


www.samopoznanie.com

Рис. 3.5.9. Коллапсирующая звезда по Оппенгеймеру



<http://www.popmech.ru/>



<http://userpages.umbc.edu/>

Черные дыры глазами художников

Все характеристики решения Шварцшильда (3.5.19) однозначно определяются одним параметром массой нейтронного ядра m_n .

Можно ввести понятие «средней плотности» черной дыры, поделив ее массу на объем, заключенный под горизонтом событий [42]:

$$\rho = \frac{3c^6}{32\pi m_n^2 G^3}. \quad (3.5.21)$$

Из равенства (3.5.21) следует, что средняя плотность падает с ростом массы черной дыры. Так, если черная дыра с массой порядка солнечной массы, обладает плотностью, превышающей ядерную плотность, то сверхмассивная черная дыра с массой в 109 солнечных масс (существование таких черных дыр подозревается в квазарах) обладает средней плотностью порядка 20 кг/м^3 , что существенно меньше плотности воды. Таким образом, в рамках модельного представления Оппенгеймера, черную дыру можно получить не только сжатием имеющегося объема вещества, но и путем накопления огромного количества атомно-молекулярной материи.



<http://impulses.by.ru/>

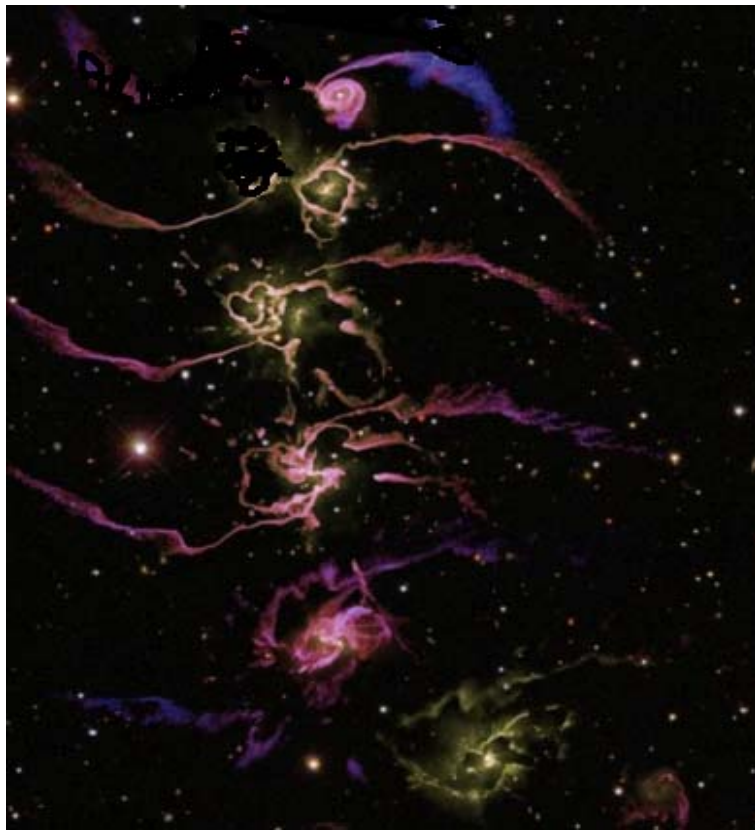
В рамках ОТО тело, свободно падающее в черную дыру, должно испытывать действие приливных сил, растягивающих его в радиальном направлении и сжимающих – в тангенциальном. Величина приливных сил растет при $r \rightarrow r_g$. В некоторый момент собственного времени тело пересечет горизонт событий. С точки зрения наблюдателя, падающего вместе с телом, этот момент ничем не выделен, однако возврата теперь нет. Тело оказывается в горловине, вырваться из которой уже нельзя, даже двигаясь со скоростью света.

Согласно ОТО, с точки зрения удаленного наблюдателя спектр свечения тела, падающего в черную дыру, должен постепенно краснеть. Кроме того издали должно казаться, что все физические процессы на падающем теле будут протекать все медленнее и медленнее и что оно сильно сплющивается.

Для удаленного наблюдателя тело, приближающееся к горизонту событий черной дыры, постепенно замедляется и, в конце концов, практически останавливается. Длина волны испускаемого телом света будет стремительно расти, так что свет быстро превратится в радиоволны и далее в низкочастотные электромагнитные колебания, зафиксировать которые уже

будет невозможно. Пересечения телом горизонта событий сторонний наблюдатель не увидит никогда, и, в этом смысле падение в черную дыру, согласно ОТО, будет длиться бесконечно долго [42].

Аналогично должен выглядеть для удаленного наблюдателя и процесс гравитационного коллапса. Вначале вещество звезды должно ринуться к ее центру, но вблизи горизонта событий оно должно резко замедлиться, а его излучение уйти в радиодиапазон. В результате удаленный наблюдатель должен увидеть, что звезда погасла.



<http://elementy.ru/>

Иллюстрация возможной эволюции коллапсирующей звезды

После работ Оппенгеймера и его соратников представления о черных дырах развивались в нескольких направлениях.

Во-первых, метрика (3.5.19) рассматривается как достаточно хорошее модельное представление об изучаемом явлении только для больших расстояний r от гравитационного радиуса черной дыры r_g ($r \gg r_g$). Для описания области пространства, более приближенной к центру рассматриваемой космической аномалии, предпочтительнее выглядит метрика пространства Крускалы – Шварцшильда [42]

$$ds^2 = -\frac{16 r_g^6}{r^2} e^{-2r/r_g} dudv + r^2(u, v)(d\theta^2 + \sin^2 \theta d\varphi^2), \quad (3.5.22)$$

где $r(u, v)$ – неявно определяется функцией

$$uv = \left(1 - \frac{r_g}{r}\right) e^{-r/r_g}. \quad (3.5.23)$$

Во-вторых, практически ни у кого не вызывает сомнения утверждение о том, что пространство вокруг черной дыры должно закручиваться (см. рис. 3.5.10). Метрика для пустого вращающегося пространства была «угадана» в 1963г. Ройем Керром. Вывод этой метрики был проделан более чем на пятнадцать лет позже нобелевским лауреатом Субраманьяном Чандрасекаром, автором фундаментальной монографии «Математическая теория черных дыр». Метрика Керра имеет вид:



<http://demiart.ru/>
Рис. 3.5.10. Закручивание пространства вокруг черной дыры

$$ds^2 = -\left(1 - \frac{r_g r}{\rho^2}\right) c^2 dt^2 + \frac{\rho^2 dr^2}{\Delta} + \rho^2 d\theta^2 + \left(r^2 + a^2 + \frac{r_g r a^2}{\rho^2} \sin^2 \theta\right) \sin^2 \theta d\varphi^2 - \frac{2r_g r a}{\rho^2} \sin^2 \theta d\varphi c dt, \quad (3.5.24)$$

где

$$\rho^2 = r^2 + a^2 \cos^2 \theta, \quad \Delta = r^2 + a^2 - r_g r, \quad (3.5.25)$$

$$a = -\frac{r_g^2 \omega_z}{2c}, \quad (3.5.26)$$

где ω_z – угловая скорость вращения пространства.

Керровская черная дыра обладает рядом замечательных свойств. Например, вокруг горизонта событий существует область, называемая эргосферой, внутри которой невозможно покоиться относительно удаленных наблюдателей, а только вращаться вокруг черной дыры в направлении ее вращения. Этот эффект называется «увлечением инерциальной системы отсчета». Эргосферу еще можно покинуть, эта область не является захватывающей. Размеры эргосферы зависят от угловой скорости вращения вакуумной протяженности вокруг керровской черной дыры.

В-третьих, не исключено, что материальное ядро внутри черной дыры может обладать электрическим зарядом. Статичное решение уравнений Эйнштейна для сферически-симметричной черной дыры с зарядом, но без вращения, было получено Хансом Райсснером (1916 г., Германия) и Гуннаром Нордстремом (1918г., Англия). Метрика Райсснера – Нордстрема имеет вид [42]:

$$ds^2 = -\left(1 - \frac{r_g}{r} + \frac{r_Q^2}{r^2}\right) c^2 dt^2 + \frac{dr^2}{\left(1 - \frac{r_g}{r} + \frac{r_Q^2}{r^2}\right)} + r^2(d\theta^2 + \sin^2 \theta d\varphi^2), \quad (3.5.27)$$

где

$$r_Q^2 = \frac{Q^2 G}{4\pi\epsilon_0 c^4} \quad (3.5.28)$$

– масштаб длины (в метрах), соответствующий электрическому заряду Q ядра (где ϵ_0 – диэлектрическая проницаемость вакуума).

Принцип космической цензуры гласит, что параметры не вращающейся черной дыры Райсснера – Нордстрема не могут быть произвольными. Например, максимальный заряд такой дыры не может превышать

$$Q_{\max} \approx \frac{10^{40} e m_n}{m_c}, \quad (3.5.29)$$

где m_c – масса Солнца; e – заряд электрона.

Наиболее общим, на сегодняшний день, считается трехпараметрическое семейство решений Керра – Ньюмена, соответствующее конечному состоянию вращающейся черной дыры с зарядом. Это решение было получено Э. Т. Ньюменом (1965г., Англия), и изучалось Э. Каучем, К. Чинна-

паредом, Э. Экстоном, Э. Пракашем и Р. Торренсем. В координатах Бойера – Линдквиста метрика Керра – Ньюмена задается выражением:

$$ds^2 = -\left(1 - \frac{r_g r}{\rho^2}\right) c^2 dt^2 + \frac{\rho^2 dr^2}{\Delta_Q} + \rho^2 d\theta^2 + \left(r^2 + a^2 + \frac{r_g r a^2}{\rho^2} \sin^2 \theta\right) \sin^2 \theta d\varphi^2 - \frac{2r_g r a}{\rho^2} \sin^2 \theta d\varphi c dt, \quad (3.5.30)$$

где

$$\rho^2 = r^2 + a^2 \cos^2 \theta, \quad \Delta_Q = r^2 + a^2 - r_g r^2 + r_Q^2. \quad (3.5.31)$$

Компонента g_{11} , метрики Керра – Ньюмена (3.5.30) обращается в бесконечность при $r^2 + a^2 - r_g r^2 + r_Q^2 = 0$, откуда следует *радиус горизонта событий* для метрического пространства окружающего заряженную, вращающуюся черную дыру

$$r_0 = \frac{r_g}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{r_g}{2}\right)^2 - a^2 - r_Q^2}. \quad (3.5.32)$$

Откуда следует ограничение Керра – Ньюмена

$$\left(\frac{r_g}{2}\right)^2 > a^2 - r_Q^2. \quad (3.5.33)$$

Представления о черной дыре, как об абсолютно поглощающем объекте, были скорректированы Стивеном Хокингом в 1975г. Изучая поведение квантовых полей вблизи черной дыры, он показал, что черная дыра может излучать частицы во внешнее пространство и, тем самым, терять массу. Этот эффект называется «испарением» Хокинга [42].

Согласно анализу, проведенному Хокингом, сильное гравитационное поле должно поляризовать вакуум. В результате этого в районе горизонта событий возможно разделение виртуальных пар частиц-античастиц вакуума на реальные частицы и античастицы. Одна из частиц, оказавшаяся чуть ниже горизонта событий, должна падать во внутрь черной дыры, а другая, оказавшаяся чуть выше горизонта, должна улетать, унося энергию черной дыры. При этом мощность излучения черной дыры, по расчетам Хокинга, должна быть приближенно равна [42]

$$L \approx \frac{\hbar c^6}{15360 \pi G^2 m_n^2}, \quad (3.5.34)$$

где \hbar – постоянная Планка.

Расчеты показали, что состав излучения черной дыры должен зависеть от ее размера. Для больших черных дыр – это в основном фотоны и нейтрино, а в спектре легких черных дыр могут присутствовать и тяжелые частицы.

Спектр хокинговского излучения оказался совпадающим с излучением абсолютно черного тела, что позволило приписать черной дыре температуру [42]

$$T_{чд} \approx \frac{\hbar c^3}{8\pi k G m_n}, \quad (3.5.35)$$

где k – постоянная Больцмана.

Из выражения (3.5.35), следует, что если судить по спектру излучения черной дыры с массой, превышающей массу Солнца в три раза, то ее температура должна быть приближенно равной $T_{чд} \approx 10^{-8}$ °К. При этом энтропия черной дыры оказывается пропорциональной площади ее горизонта событий [42]:

$$S_{чд} \approx \frac{A k c^3}{4 \hbar G}, \quad (3.5.36)$$

где A – площадь горизонта событий.

Из исследований Хокинга и его последователей следует, что скорость испарения черной дыры тем больше, чем меньше ее размеры. Поэтому испарением черных дыр звездных (и тем более галактических) масштабов можно пренебречь. Однако для микроскопических и квантовых черных дыр «испарение» оказывается доминирующим процессом. Время жизни «испаряющейся» черной дыры оценивают выражением [42]

$$\tau_{чд} \approx \frac{5120\pi G^2 m_n^3}{\hbar c^4}. \quad (3.5.37)$$

По расчетам Хокинга интенсивность испарения черной дыры нарастает лавинообразно, и заключительный этап ее эволюции должен носить характер взрыва. Например, согласно (3.5.37), черная дыра с массой 1000 т должна «испариться» за 84 секунды, выделив энергию, равную взрыву примерно десяти миллионов атомных бомб средней мощности.

В то же время, большие черные дыры, по мнению Хокинга, температура которых ниже температуры реликтового излучения Вселенной (2,7 К) на современном этапе развития Вселенной могут только расти, так как испускаемое ими излучение имеет меньшую энергию, чем поглощаемое. Как считают последователи Хокинга, данный процесс может продлиться до тех

пор, пока фотонный газ реликтового излучения не остынет в результате расширения Вселенной [42].

Без квантовой теории гравитации невозможно описать заключительный этап испарения, когда черные дыры становятся микроскопическими (квантовыми) объектами. Согласно некоторым теориям, после испарения должен остаться «огарок» – минимальная планковская черная дыра [42].



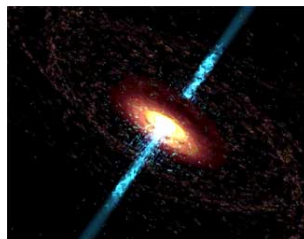
<http://znaite.com.ua/>

Струнные теоретики полагают, что горизонт событий черной дыры представляет собой пенящуюся массу струн, а не жестко очерченную границу [42]. Согласно суперструнным представлениям, черная дыра не уничтожает информацию, потому что когда материя уходит в сингулярность, информация – путем квантовой телепортации – отпечатывается на излучении Хокинга [42].

По современным представлениям, есть пять основных сценариев образования черной дыры [42]:

1) Гравитационный коллапс (катастрофическое сжатие) достаточно массивной Звезды (более чем 3,6 масс Солнца) на конечном этапе ее эволюции;

2) Коллапс центральной части галактики или прагалактического газа. Некоторые исследователи считают, что огромные черные дыры находятся в центре многих галактик;



<http://www.fio.vrn.ru/>



<http://www.fio.vrn.ru/>

3) Формирование черных дыр в момент Большого Взрыва в результате флуктуаций гравитационного поля и/или материи;

4) Возникновение черных дыр в ядерных реакциях высоких энергий – квантовые черные дыры;

5) Столкновение двух нейтронных звезд.

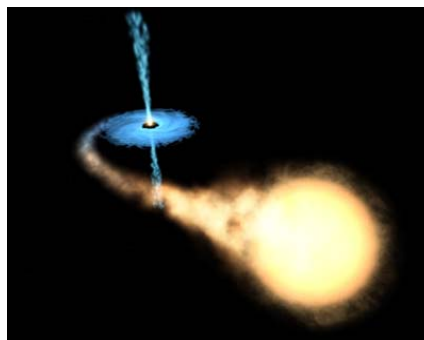
Условия, при которых конечным состоянием эволюции космического процесса является черная дыра, изучены недостаточно хорошо, так как для этого необходимо знать поведение вещества при чрезвычайно высоких плотностях и энергиях, ныне недоступных для экспериментального изучения. Дополнительные сложности возникают при моделировании состояния звезд на поздних этапах их эволюции из-за изменения химического состава звездного вещества и резкого уменьшения характерных времен протекаемых процессов.

Со времен теоретического предсказания и математического описания черных дыр остается открытым вопрос об их реальном существовании, так как наличие решения вакуумного уравнения Эйнштейна типа «черная дыра» не является гарантией того, что они реально существуют [42].

Обнаружение черных дыр предполагается по следующим косвенным признакам:

1) Столкновение нейтронных звезд, способных образовать черную дыру должно привести к мощнейшему гравитационному излучению, которое, как ожидается, можно будет зарегистрировать [42];

2) Считается, что черная дыра может разрастаться за счет поглощения вещества – как правило, это газ соседней звезды [42]. Процесс падения газа на любой компактный астрофизический объект, в том числе и на черную дыру, называется аккрецией. При этом из-за вращения газа формируется аккреционный диск, в котором вещество разгоняется до релятивистских скоростей, нагревается и сильно излучает, в том числе и в рентгеновском диапазоне. Считается, что можно обнаруживать такие аккреционные диски (и, следовательно, черные дыры) при помощи рентгеновских телескопов. Основной проблемой при этом является малость отличий аккреционных дисков нейтронных звезд и черных дыр. Это приводит к неуверенности в идентификации черных дыр из всего многообразия наблюдаемых рентгеновских источников излучения;



<http://www.fio.vrn.ru/>

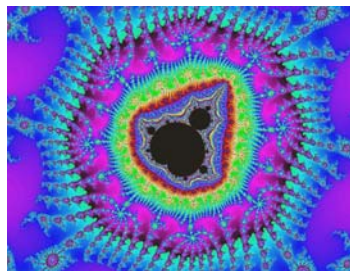
3) Некоторые ученые полагают, что разросшиеся, очень массивные черные дыры образуют ядра галактик. Чтобы это проверить, нужно снарядить туда экспедицию;



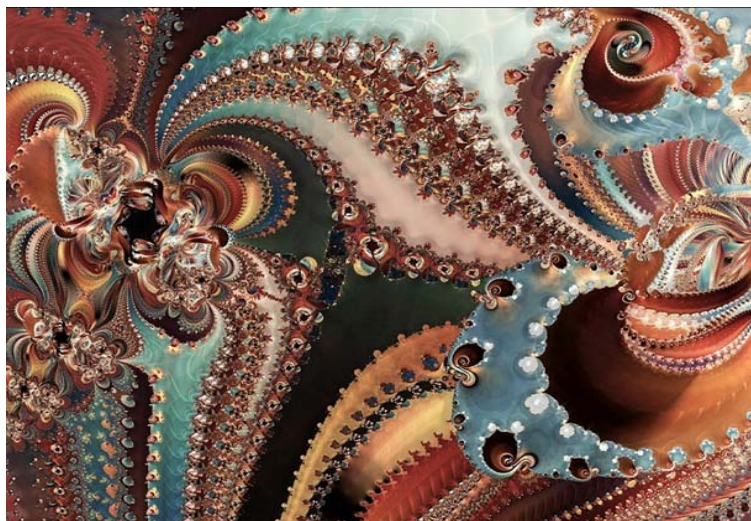
Фото NASA с телескопа Hubble
Спиральная и эллиптическая галактики

4) Предполагается, что в результате ядерных реакций могут возникать устойчивые микроскопические черные дыры, так называемые «квантовые черные дыры». Из общих соображений весьма вероятно, что спектр масс черных дыр дискретен и существует минимальная (планковская) черная дыра с массой порядка 10^{-5} г и радиусом 10^{-35} м [42]. Считается, что даже если квантовые дыры существуют, время их существования из-за испарения Хокинга крайне мало, что делает их обнаружение очень проблематичным. В последнее время предложены эксперименты по обнаружению черных дыр в ядерных реакциях. Однако для синтеза черной дыры в ускорителе необходима энергия 1026 ГэВ [42]. Такая энергия будет достижима при выводе большого адронного коллайдера в ЦЕРНе на проектную мощность. Поэтому многие ученые полагают, что запуск этого коллайдера на полную мощность может привести к катастрофическим последствиям.

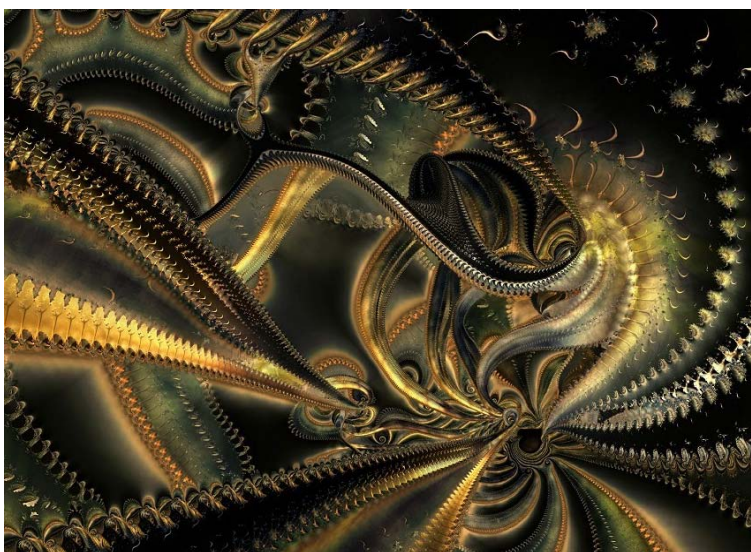
На сегодняшний день можно уверенно констатировать следующее. Несмотря на то, что математические модели, основанные на ОТО и квантовой теории поля, допускают существование черных дыр, тем не менее, в реальности эти объекты надежно не обнаружены.



<http://photo.starnet.ru/>
Рис. 3.5.11. «Черная дыра»
Сознания – это Бхина далет
после цимцума алеф



www.fractal-recursions.com



<http://tw.org.ua/>

Иллюстрации окружения черной дыры на
ультральном уровне рассмотрения Алсигны