

Черные дыры и эволюция Вселенной

(Опубликовано: 06.02.2012. Дополнено: 26.02.2012.)

Рассмотрена глобальная эволюция черных дыр в нашей Вселенной, а также возможная эволюция черных дыр в иерархии вселенных иных размерностей.

1 Рост черных дыр в нашей Вселенной

Черные дыры (ЧД) *необратимо* эволюционируют в рамках своего рода метаболического процесса – они поглощают энергию и материю из внешнего мира. Возникает вопрос – как соотносится темп роста *внутренних* черных дыр с темпом расширения *материнской* (нашей) Вселенной? Может ли в конце концов внутренняя ЧД стать соизмеримой с материнской или даже поглотить ее?

Если бы окружающая ЧД среда всегда имела заданную (постоянную) плотность материи ρ , а удельный темп поглощения внешней материи на единицу этой площади оставался постоянным, то скорость роста массы M черной дыры росла бы с нарастающим темпом:

$$dM = Spvdt = kM^2\rho vdt$$

Здесь dM – прирост массы ЧД, $S=kM^2$ – площадь поверхности ЧД, пропорциональная квадрату ее массы M ($k=16\pi G^2/c^4$; поскольку $G=7\cdot 10^{-11}$ м³·с⁻²·кг⁻¹ и $c=3\cdot 10^8$ м·с⁻¹, то $k=3\cdot 10^{-53}$ м²·кг⁻²), v – средняя скорость падения материи в ЧД, dt – дифференциал времени. Тогда¹

$$(dM/dt) = k\rho vM^2$$

Это – простейший случай хорошо известного уравнения Рикатти, его решение может быть представлено в виде:

$$M(t) = \frac{1}{(M_0)^{-1} - k\rho vt}$$

где M_0 – масса при $t=0$. Очевидно, величина $M(t)$ неограниченно возрастает при значении $t_\infty=(k\rho vM_0)^{-1}$, как показано на рис. 1.

Сделаем оценочный расчет, приняв² $\rho=10^{-21}$ кг·м⁻³, $v = 3\cdot 10^5$ м·с⁻¹ (0.1% от скорости света), $M_0 = 10^{40}$ кг (наибольшая оценка для массы сверхмассивной черной дыры). Тогда найдем, что

$$k\rho vM_0 = (3\cdot 10^{-53}) \cdot (10^{-21}) \cdot (3\cdot 10^5) \cdot (10^{40}) \approx 10\cdot 10^{-74+45} = 10^{-28} \text{ с}^{-1}$$

и

$$t_\infty = (1/k\rho vM_0) = 10^{28} \text{ с} \approx 10^{21} \text{ лет}$$

¹ В работе [Hobbs et al., 2012] рекомендуется усовершенствованная формула Бонди-Хойла, качественно близкая к предложенной в настоящей работе.

² Значение средней плотности газа вокруг сверхмассивных ЧД взято из работы [DeGraf et al, 2012], это на 6 порядков выше, чем средняя плотность материи в нашей Вселенной.

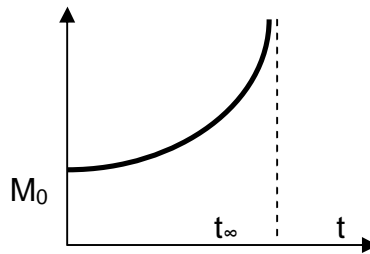


Рисунок 1. Изменение темпа роста массы ЧД

Эта величина неизмеримо больше, чем текущий возраст Вселенной (10^{10} лет). Очевидно, что ошибка в исходных данных на несколько порядков качественно не изменит полученного результата, так что с этой стороны угрозы для человечества в обозримом времени не усматривается.

Малость отношения (t/t_∞) дает возможность записать приближенное соотношение в виде:

$$M(t) \approx M_0 \cdot (1 + t/t_\infty)$$

Таким образом, прирост массы черных дыр на данном этапе эволюции нашей Вселенной происходит с течением времени t по закону

$$\Delta M(t) \approx M_0 \cdot t \cdot (k_{pv})$$

Как легко видеть, в первом приближении темп роста ЧД пропорционален плотности ρ окружающей их среды. Именно этим естественно объяснить тот факт, что сверхмассивные ЧД астрофизики повсеместно обнаруживают не где-нибудь, а именно в *центрах галактик*, поскольку там значение ρ в течение длительного времени должно быть на несколько порядков выше, чем в иных областях Вселенной.

Важно также обратить внимание на следующее обстоятельство. Необратимый рост ЧД происходит только до тех пор, пока он сопровождается ростом ее энтропии, пропорциональной площади ее поверхности S . В плоском евклидовом пространстве величина S может неограниченно увеличиваться. Однако если наше 3-мерное пространство имеет закрытый тип метрики (т.е. является сферической гиперповерхностью конечного радиуса), то рост площади ЧД с увеличением ее массы происходит только тех пор, пока не будет достигнут размер “экваториальной” площади Вселенной. После этого возникнет новая ситуация – рост массы ЧД должен приводить не к увеличению, а к уменьшению площади ее поверхности и энтропии! Но это противоречит второму началу термодинамики, поэтому рост ЧД должен прекратиться. *В конечном счете Вселенная, вероятно, будет состоять из двух огромных ЧД, которые, однако, не смогут слиться в единое целое.*

2 Черные дыры во вселенных иных размерностей

В ранее опубликованных одним из авторов работах (см. например, [Шульман, 2009, 2011а, 2011б, 2011в]) было развито представление о нашей Вселенной как о черной дыре в 4-мерной гипервселенной, *линейно* расширяющейся в собственном времени, так что ее возраст строго пропорционален ее текущим размеру и массе. Сама Вселенная имеет размерность, на единицу меньшую, чем эта гипервселенная, т.е. является 3-

мерной. В свою очередь, согласно этой концепции, черные дыры внутри нашей Вселенной имеют размерность еще меньшую, они представляют собой 2-мерные сферические поверхности (что соответствует общепринятому “мембранному” подходу для внешнего наблюдателя). Таким образом, возникает иерархия черных дыр, отношения между которыми представляет определенный интерес.

Рассмотрим, как изменяются с ростом массы M черной дыры ее геометрический R и гравитационный R_G радиусы в n -мерном пространстве (заметим, что для одномерного случая такой подход принципиально неприменим).

Очевидно, *геометрический* радиус R черной дыры в пространстве n измерений связан (при заданной плотности) с ее массой M соотношением

$$R \sim (M)^{1/n}$$

(например, в нашем 3-мерном пространстве $R \sim (M)^{1/3}$).

Далее, будем исходить из гипотезы, согласно которой в n -мерном пространстве силы гравитационного взаимодействия (в соответствии с теоремой Гаусса) убывают по закону R^{1-n} (в частности, R^{-2} в нашей 3-мерной Вселенной). Для 2-мерной поверхности эта гипотеза оправдывается аналогией с законами изменения электростатических сил для цилиндрической (не сферической) конфигурации: в этом случае напряженность поля убывает по закону R^{-1} , а электростатический потенциал ϕ – по закону $\ln(R_{\max}/R)$, где R_{\max} – радиус внешней обкладки цилиндрического конденсатора. Закон $\phi \sim M \ln(R_{\max}/R)$ по аналогии описывает статическое гравитационное поле на 2-мерной поверхности, если положить величину R_{\max} достаточно большой.

Для n -мерного случая (при $n > 2$) потенциал будет изменяться, соответственно, по закону R^{2-n} (в нашей Вселенной, т.е. при $n=3$ – по закону $\phi \sim M/R$).

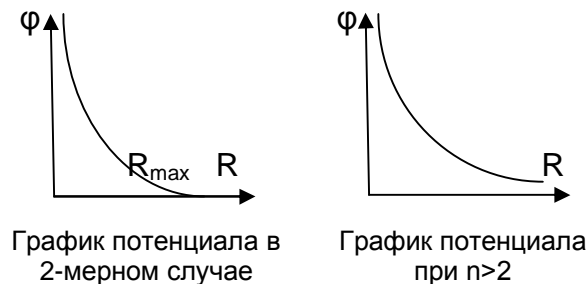


Рисунок 2. Изменение потенциала в зависимости от расстояния

Гравитационный радиус черной дыры в классической физике 3-мерного пространства находится из условия равенства удельной (на единицу пробной массы) кинетической энергии и гравитационного потенциала источника с массой M : $c^2/2 = \phi(R_G)$. Используя такой же подход и для 2-мерной конфигурации, получим

$$c^2/2 \sim G_2 M \cdot \ln(R_{\max}/R_G)$$

откуда

$$R_G \sim R_{\max} \exp(-c^2/2G_2M)$$

где G_2 – гравитационная постоянная для 2-мерного пространства. В общем случае мы получаем следующую таблицу, в которой гравитационные постоянные G_2 , G_3 , G_n различаются по крайней мере размерностью.

Таблица 1

Соотношения для потенциала и гравитационного радиуса

	n=2	n=3	n>3
Исходное соотношение для потенциала	$c^2/2 = G_2 M \ln(R_{\max}/R_G)$	$c^2/2 = G_3 M/R_G$	$c^2/2 = G_n M/(R_G)^{n-2}$
Выражение для R_G	$R_G = R_{\max} \exp(-c^2/2G_2 M)$	$R_G = 2G_3 M/c^2$	$R_G = [2G_n M/c^2]^{1/(n-2)}$

На рис. 3 показано сравнительное изменение геометрического и гравитационного радиуса ЧД в зависимости от ее массы при заданной плотности.

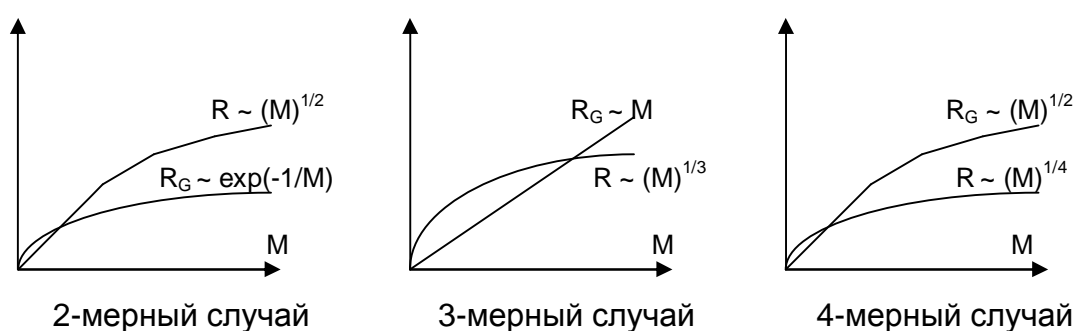


Рисунок 3. Изменение геометрического и гравитационного радиуса ЧД в зависимости от ее массы

Из анализа рисунка следует, что при некотором значении массы ЧД (при заданной плотности) численное соотношение между R и R_G изменяется на противоположное.

Так, при $n > 2$ слева от точки пересечения кривых $R > R_G$, тогда как справа от точки пересечения $R < R_G$. Это означает, что для нашей Вселенной (и для вселенных более высоких размерностей) материальные тела (с заданной плотностью) небольших размеров находятся в обычном состоянии, но когда их масса и размер при (сохранении той же плотности) достигают критической величины, то они коллапсируют, превращаясь в ЧД. Следовательно, их размер должен быть конечным.

Напротив, при $n = 2$ материальные объекты должны эволюционировать противоположным образом. Возможно, из этого следует, что такая эволюция вообще неосуществима.

3 Заключение

Таким образом, мы приходим к следующим выводам:

- Наша Вселенная не может быть бесконечной и представляет собой черную дыру во внешней 4-мерной гипервселенной³. Аналогичным образом, должна существовать иерархия конечных по размерам ЧД еще более высоких размерностей.

³ См. [Шульман, 2009, 2011а, 2011б, 2011в].

- Поскольку черные дыры существуют внутри “материнской” ЧД, т.е. внутри пространства с замкнутой (сферической) геометрией, они могут расти только до “экватора” этой материнской ЧД и, следовательно, никогда не поглотят ее. Что бы ни происходило внутри дочерней дыры, информация о ее структуре принципиально никогда не будет доступна для наблюдения извне.
- Глобальная эволюция черных дыр в нашей Вселенной на заключительном этапе приведет, скорее всего, к образованию двух невообразимо огромных дочерних черных дыр, занимающих практически весь объем Вселенной.
- Возникновение структурированных дочерних черных дыр в 2-мерных черных дырах (которые, в свою очередь, являются дочерними ЧД по отношению к нашей 3-мерной Вселенной) представляется, скорее всего, невозможным или, по меньшей мере, проблематичным.

Ссылки:

[DeGraf et al, 2012] C. DeGraf, T. Di Matteo, N. Khandai, R. Croft. Growth of early supermassive black holes and the high-redshift Eddington ratio distribution. arXiv:1201.5383v1 [astro-ph.CO] 25 Jan 2012

[Hobbs et al., 2012] A. Hobbs, C. Power, S. Nayakshin & A. King. Modelling supermassive black hole growth: towards an improved sub-grid prescription. arXiv:1202.4725v1 [astro-ph.IM] 21 Feb 2012

[Шульман, 2009] М.Х. Шульман. Время, энтропия и Вселенная.

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

[Шульман, 2011а] М.Х. Шульман. Природа времени и равномерное расширение Вселенной.

www.timeorigin21.narod.ru/rus_time/Universe_expansion_rus.pdf

[Шульман, 2011б] М.Х. Шульман. Может ли Вселенная не быть черной дырой?

www.timeorigin21.narod.ru/rus_time/Universe_must_be_bh_rus.pdf

[Шульман, 2011в] М.Х. Шульман. Альтернативная космология.

www.timeorigin21.narod.ru/rus_time/Alt_cosmology.pdf