

РЕЛИКТОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ И ИСПАРЕНИЕ ЧЕРНОЙ ДЫРЫ

© М.Х. Шульман, 2015

(27.02.2015)

(shulman@dol.ru, www.timeorigin21.narod.ru)

В статье анализируется осуществимость процесса испарения черной дыры с учетом внешнего фактора – микроволнового фонового космического излучения (так называемого “реликтового” излучения).

В 1975 году С. Хокинг опубликовал знаменитую работу [1], в которой показал, что квантовомеханический анализ предсказывает существование *собственного излучения* черной дыры (ЧД). Последнее характеризуется спектром абсолютно черного тела (рис. 1) и эффективной температурой $T_H \sim 1/m$, где m – масса ЧД.

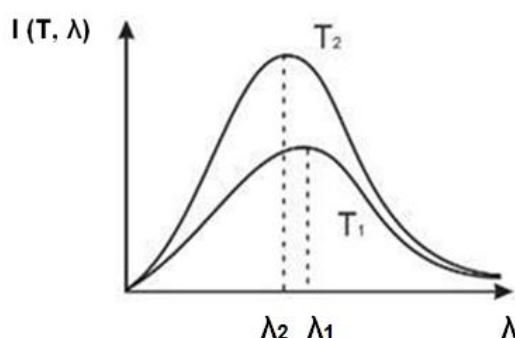


Рисунок 1. Зависимость мощности излучения $I(T, \lambda)$ от температуры T и длины волны λ . При увеличении температуры ($T_2 > T_1$) длина волны, при которой достигается спектральный максимум излучения, уменьшается обратно пропорционально ($\lambda_2 < \lambda_1$).

Поскольку гравитационный радиус r (невращающейся электрически нейтральной) ЧД прямо пропорционален ее массе, то с тем же основанием мы можем записать $T_H \sim 1/r$. Из этого обычно делают вывод, что “предоставленная самой себе” ЧД будет испаряться, при этом ее масса и радиус будут уменьшаться, а температура будет расти с ускорением, так что все это закончится взрывом, уничтожающим ЧД¹.

Между тем вряд ли всегда допустимо рассматривать ЧД, полагая ее “предоставленной самой себе” независимо от реальных условий. В частности, должно учитываться своего рода “противодействие” испарению ЧД за счет поглощения ею энергии внешнего излучения и вещества. Вообще говоря, энергия вещества в ряде случаев может играть доминирующую роль, но здесь мы ограничимся учетом роли так называемого реликтового (микроволнового фонового космического) излучения.

Как мы знаем, Вселенная заполнена реликтовым излучением (РИ), спектр которого также является тепловым (см. рис. 1) и соответствует температуре $T_C \sim 3$ К (точнее: 2.725 К, спектральный максимум имеет место при длине излучения $\lambda = 1.9$ мм, частота 160.4 ГГц). Это с большой точностью подтвердили измерения с помощью спектрофотометра дальнего инфракрасного излучения FIRAS, установленного на спутнике COBE (NASA).

РИ необратимым образом поглощается ЧД и очевидным образом противодействует ее хокинговскому излучению. Поглощение РИ, очевидно, будет доминировать в случае черной дыры с температурой горизонта $T_H < T_C$. Поскольку для ЧД с массой, равной массе

¹ Вместе с тем, в 2014 г. в работе [2] были представлены результаты расчетов, говорящие о том, что при возникновении ЧД вследствие коллапса звезды возникающее излучение Хокинга стремительно прерывает ее дальнейшее образование.

Земли (6×10^{24} кг), температура Хокинга равна² $T_H \approx 0.02$ К и $r \approx 10$ мм, то нетрудно рассчитать, что для ЧД с температурой Хокинга 3 К шварцшильдовский радиус испаряющейся ЧД должен быть меньше $1.5 \text{ м} \approx 0.01 \text{ м} \times (3/0.02)$.

Таким образом, в настоящую космологическую эпоху *испаряться могут только ЧД с радиусом менее 1.5 м и массой менее 150 масс Земли*. При этом важно отметить, что температуре 3 К соответствует максимум длины волны теплового излучения, равный $\lambda_{3\text{К}} \approx 2$ мм, что намного меньше 1500 мм, т.е. подобные волны вполне могут излучаться телом с размерами такой ЧД³. Это же соотношение (1: 750) между ними справедливо для любого момента истории Вселенной (рис. 2), начиная от эпохи последнего рассеяния ($z \approx 1000$), поскольку и максимально допустимый гравитационный радиус⁴ испаряющейся ЧД r , и длина волны спектрального максимума λ теплового излучения⁵ обратно пропорциональны температуре T_H . Такая же ситуация должна сохраняться и в будущем, когда температура реликтового излучения будет еще более понижаться.

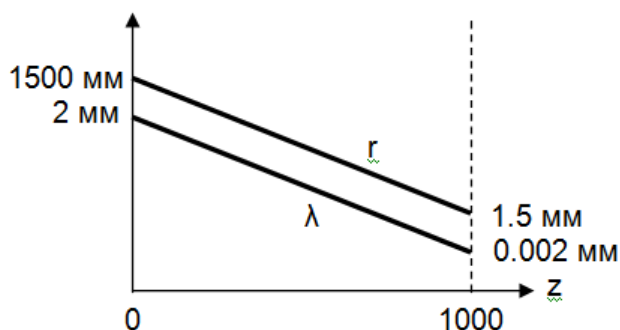


Рисунок 2. Зависимость максимально возможного радиуса испаряющейся ЧД r и длины волны соответствующего спектрального максимума λ от величины красного смещения (для вертикальной оси использован логарифмический масштаб). Смещение $z=0$ соответствует текущему значению температуры реликтового излучения (~ 3 К), смещение $z \approx 1000$ соответствует эпохе последнего рассеяния (~ 3000 К), когда размер Вселенной был в 1000 раз меньше.

Литература

- [1] S. W. Hawking. “Particle Creation by Black Holes”. Commun. math. Phys. 43, 199—220 (1975)
- [2] Laura Mersini-Houghton and Harald P. Pfeiffer. Back-reaction of the Hawking radiation on a gravitationally collapsing star II: Fireworks instead of _rewalls. ArXiv:1409.1837v1 [hep-th] 5 Sep 2014
- [3] Jacob D. Bekenstein. “Black holes and information theory”. ArXiv:quant-ph/0311049v1 9 Nov 2003

² Автор благодарит Ю.А. Лебедева за сообщение о досадной арифметической ошибке, допущенной в первоначальной версии текста этой работы.

³ Исходя из аналогичных соображений, Дж. Бекенштейн в работе [3] писал: “... “масса черной дыры не может быть меньше массы Планка (2×10^{-5} г), т.к. в противном случае дыра оказалась бы меньше собственной комптоновской длины волны” (перевод мой – МХШ).

⁴ Согласно современным представлениям, температура реликтового излучения убывает обратно пропорционально размеру Вселенной.

⁵ В соответствии с законом смещения Вина.