

# Первичные чёрные дыры

готовится by Часников Н.А. T10-40. v0.4

May 5, 2010

## Contents

<b>1</b>	<b>Механизм образования</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Эффект Унру</b>	<b>1</b>
2.1	Эффект Унру . . . . .	1
2.2	Излучение Хоккинга . . . . .	2
<b>3</b>	<b>Испарение чёрных дыр</b>	<b>2</b>
<b>4</b>	<b>Следствия</b>	<b>2</b>
<b>5</b>	<b>Литература</b>	<b>3</b>

## 1 Механизм образования

Традиционно считается, что чёрные дыры образуются за счёт гравитационного сжатия звёзд. Однако, они могут и возникать за счёт флуктуации первичной плотности - переуплотнённые области прекращают расширяться и вновь сжимаются. Предложено еще несколько механизмов образования ПЧД, но это — простейший. Карр и Хоккинг рассчитали, что образовываться такие чёрные дыры могут с массой  $10^{-5}g$ .<sup>1</sup> и выше. Также, Хоккинг сделал предположение о том, что чёрная дыра испускает частицы как АЧТ с температурой  $T_{bh} = \frac{hc^3}{8\pi G M k_B} \sim 10^{-7} \frac{M_\odot}{M}$ . Во Вселенной с уравнением состояния  $p = \gamma\rho$ , где  $0 \leq \gamma \leq 1$  вероятность, что образуется чёрная дыра из флуктуаций определяется выражением  $W_{pbh} \propto \exp\left(\frac{-\gamma^2}{2\langle\delta^2\rangle}\right)$ , где  $\delta$ - дисперсия флуктуации плотности, распределённой по нормальному закону.

Карр также рассчитал, что при доле областей, достаточно плотных чтобы сколлапсировать, равной  $\beta(M) = \rho(M) \exp\left(-\frac{\gamma^2}{2\rho(M)^2}\right)$ , относительная плотность ПЧД во Вселенной будет определяться выражением

$\Omega_{pbh} = \beta\Omega_R (1+z) \sim 10^6 \sqrt{\beta\left(\frac{t}{s}\right)} = 10^{18} \sqrt{\beta\left(\frac{M}{10^{15}g}\right)}$ , где  $\Omega_R \sim 10^{-4}$  — относительная плотность микроволнового фона.

## 2 Эффект Унру

### 2.1 Эффект Унру

Эффект Унру (излучение Унру) — предсказываемый квантовой теорией поля эффект наблюдения теплового излучения в ускоряющейся системе отсчёта при отсутствии этого излучения в инерциальной системе отсчёта. Другими словами, ускоряющийся наблюдатель увидит фон излучения вокруг себя, даже если неподвижный наблюдатель не видит ничего. Основное квантовое состояние в неподвижной системе кажется состоянием с ненулевой температурой в ускоряющейся системе отсчёта. Вакуум — это самое простое, самое низшее по энергии из возможных состояний. Энергетические уровни квантованного поля зависят от Гамильтониана, который, в общем случае зависит от координат, импульсов и времени. Поэтому гамильтониан, а значит и понятие вакуума, зависит от системы отсчёта. В пространстве Минковского из-за его высокой симметрии для

---

<sup>1</sup> в работах Чишольма даются оценки на минимальную массу ПЧД:  $\frac{M_{BH}}{m_{pl}} \geq \frac{4}{27} \sqrt{\frac{g_*}{5\pi}}$

всех инерциальных систем отсчёта вакуум — одно и то же состояние. Но это не так уже для неинерциальных систем в пространстве Минковского, а тем более для практически произвольно искривлённых пространств общей теории относительности. В квантовой теории поля физический вакуум наполнен постоянно рождающимися и исчезающими флуктуациями различных полей (можно сказать и «виртуальными частицами»).

## 2.2 Излучение Хоккинга

Хоккинг показал, что за счёт квантовых эффектов вблизи её поверхности, чёрная дыра может терять энергию покоя, тем самым испаряясь. В поле внешних сил динамика этих флуктуаций меняется, и если силы достаточно велики, прямо из вакуума могут рождаться пары частица-античастица. Такие процессы происходят и вблизи (но всё же снаружи) горизонта событий чёрной дыры. При этом возможен случай, когда полная энергия античастицы оказывается отрицательной, а полная энергия частицы — положительной. Падая в чёрную дыру, античастица уменьшает её полную энергию покоя, а значит и массу, в то время как частица оказывается способной улететь в бесконечность. Для удалённого наблюдателя это выглядит как излучение чёрной дыры. Незаряженная, невращающаяся Шварцшильдская ЧД излучает частицы спина  $s$  и энергией в диапазоне  $(Q, Q + dQ)$

$$d\dot{N} = \frac{\Gamma_s dQ}{2\pi\hbar} \left[ \exp\left(\frac{8\pi GQM}{\hbar c^3}\right) - (-1)^{2s} \right]^{-1}$$

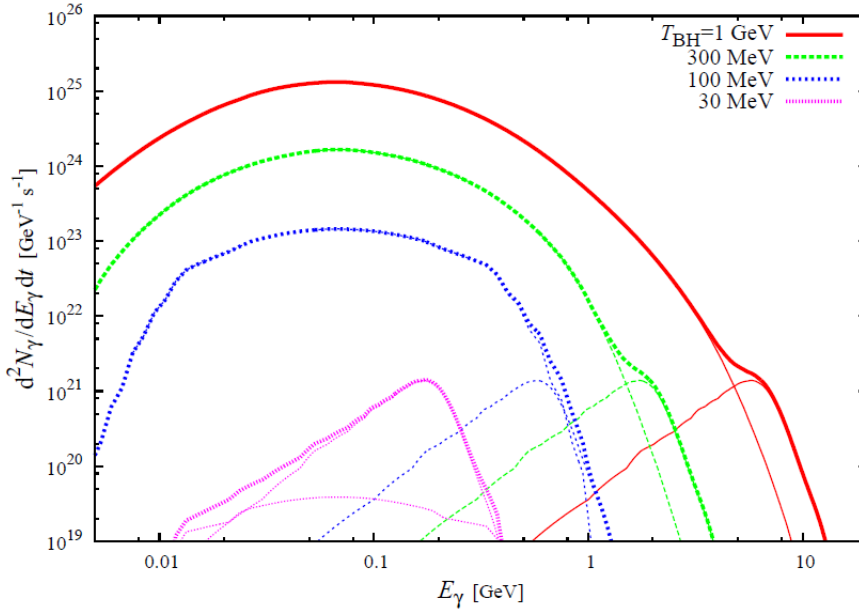


Figure 1: Спектр фотонов от типичной чёрной дыры

## 3 Испарение чёрных дыр

Расчёты показывают, что ЧД теряет массу по закону

$$\dot{M} = -5.34 \cdot 10^{25} \cdot \frac{f(M)}{M^2} \frac{g}{sec}$$

Откуда можно легко рассчитать, что ЧД, образовавшаяся с массой  $M$ , живёт примерно

$$\tau(M) \sim \frac{\hbar c^4}{G^2 M^3}$$

При уменьшении массы ЧД она «светит» сильнее, а гравитация остаётся порядочной, поэтому испущенные частицы могут догонять своих более ранних товарищей. Так что возникли гипотезы образования фотосферы вокруг ЧД, развиваемые в основном Хеклером.

## 4 Следствия

Рассмотрим следствия, которые получаются, если предположить существование ПЧД. Испарение черных дыр с массой  $10^9 < M < 10^{13} \text{ г}$ . может влиять на образование  $n\bar{n}$ , приводить к уничтожению дейтерия и расщеплению  ${}^3\text{He}$ . Испускание адронов увеличивает вымороженное соотношение  $n/\bar{p}$ .

Испущенный нуклон  $p(n) + \alpha_{bg} \rightarrow \begin{cases} T + \dots \\ {}^3He + \dots \end{cases}$ , а в свою очередь тритий и  $He3$  рассеивается на  $\alpha_{bg}$ , образуя

$${}^6Li : \quad {}^3He + \alpha_{bg} \rightarrow {}^6Li + n(p)$$

Возможен и другой процесс:  $\gamma + \alpha_{bg} \rightarrow \begin{cases} T + p \\ {}^3He + n \end{cases}$

## 5 Литература

- [1] Carr B J and Hawking S W 1974 Mon. Not. R. Astron. Soc. 168 399
- [2] Jane MacGibbon, Phys. Rev. D., V44 #2
- [3] James R. Chisholm, Phys. Rev. D 74, 043512 (2006)
- [4] M. Y. Khlopov, in Recent Advances on the Physics of compact objects and Gravitational Waves.
- [5] B. J. Carr, in Inflating Horizons in Particle Astrophysics and Cosmology
- [6] K. Kohri and J. Yokoyama, Phys. Rev. D61, 023501 (2000), arXiv:astro-ph/9908160.