

Эффекты доминантности первичных черных дыр, испаряющихся в очень ранней Вселенной

Полянский Денис Евгеньевич

НИЯУ «МИФИ»

Научный руководитель д.ф. - м.н., проф. М. Ю. Хлопов

Отчет о научно-исследовательской работе
Москва, 24 мая 2023 г.

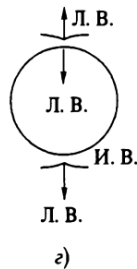
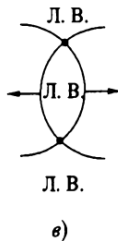
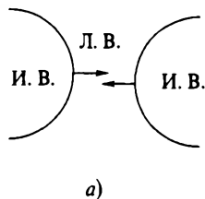
Образование ПЧД от столкновений пузырей вакуума в фазовых переходах первого рода

Предполагаем существование двух невырожденных состояний вакуума: истинный и ложный. Состояние ложного распадается, потенциальная энергия переходит в кинетическую энергию стенок.

При

$$D_{\min} < r_g$$

происходит образование ПЧД.



Доминирование ПЧД, образованных в конце инфляционной стадии

Во многих инфляционных моделях период инфляции заканчивается фазовым переходом первого рода, в котором формируются ПЧД массой

$$M_0 = \frac{\gamma_1}{2} \frac{m_{\text{Pl}}^2}{H_{\text{end}}}. \quad (1)$$

Оценены время начала и окончания стадии доминирования таких ПЧД

$$t_1 \approx (\beta_0^2 H_{\text{end}})^{-1}, \quad (2)$$

$$t_2 = \frac{1}{g} \left(\frac{M_0}{m_{\text{Pl}}} \right)^3 t_{\text{Pl}}. \quad (3)$$

Взяв $\gamma_1 = 0.01$, $H_{\text{end}} \approx 4 \cdot 10^{-6} m_{\text{Pl}}$, получаем

$$M \approx 0.4 \text{ г},$$

$$t_1 \approx 10^{-32} \text{ с},$$

$$t_2 \approx 10^{-28} \text{ с}.$$

Стабильные остатки испарения ПЧД

Можно предположить, что при испарении ПЧД остается стабильный остаток. Возьмём его массу

$$m_{\text{rel}} = k m_{\text{PI}}. \quad (4)$$

Доля общей плотности Вселенной, приходящейся на остатки ПЧД

$$\alpha_{\text{rel}} = k \left(\frac{m_{\text{PI}}}{M_0} \right) \left(\frac{t_{\text{eq}}}{t_2} \right)^{1/2}. \quad (5)$$

При $\alpha_{\text{rel}} < 1$ получаем

$$\frac{H_{\text{end}}}{m_{\text{PI}}} < \frac{0.6\gamma_1}{k^{2/5}g^{1/5}} \left(\frac{t_{\text{PI}}}{t_{\text{eq}}} \right)^{1/5} \leq 5 \cdot 10^{-12} \gamma_1. \quad (6)$$

Но из условия

$$\beta(M) < 10^{-8} \left(\frac{10^{11} \text{ г}}{M} \right) \quad (7)$$

оцениваем

$$\frac{H_{\text{end}}}{m_{\text{PI}}} > 10^{-9} \gamma_1. \quad (8)$$

Образование частиц при испарении ПЧД

ПЧД становятся источниками частиц, излучая как чёрное тело с температурой

$$T_{\text{eva}}(M) = \frac{1}{8\pi GM} \approx 10^{13} \left(\frac{1\text{г}}{M} \right) \text{ ГэВ.} \quad (9)$$

Если инфляционная стадия заканчивается фазовым переходом первого рода, то испарение ПЧД массой $M = 1 \text{ г}$ может приводить к образованию гравитино с массой

$$m = \frac{10^{13}}{g} \text{ ГэВ}, \quad (10)$$
$$g \sim 10^2.$$

Взяв ограничение на $\beta_0 \geq 10^{-3}$, оценим вклад гравитино в полную космологическую плотность

$$\frac{\rho_g}{\rho_{\text{tot}}} \sim \frac{\beta_0}{g} \geq 10^{-5}. \quad (11)$$

Заключение

- Рассмотрен механизм образования ПЧД в фазовых переходах первого рода, оценены время начала и окончания стадии доминирования таких ПЧД. Представлен конкретный пример.
- Найдена несовместимость между теорией существования стабильных остатков испарения ПЧД и теорией образования ПЧД в фазовых переходах первого рода в конце инфляции.
- Получена оценка на вклад гравитино в полную космологическую плотность, которая не соответствует наблюдательным данным.