Компактные дополнительные измерения в качестве источника черных дыр

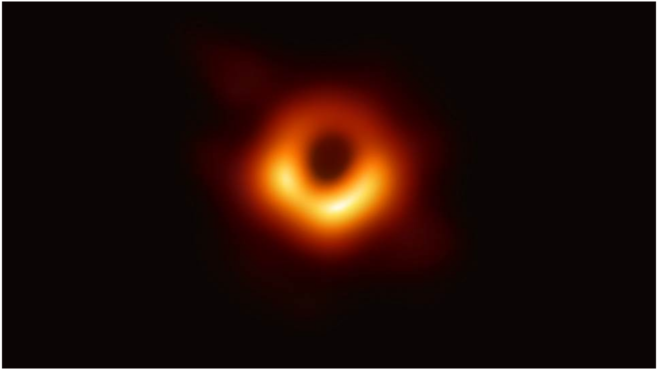
Максим Краснов

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

22.12.2021

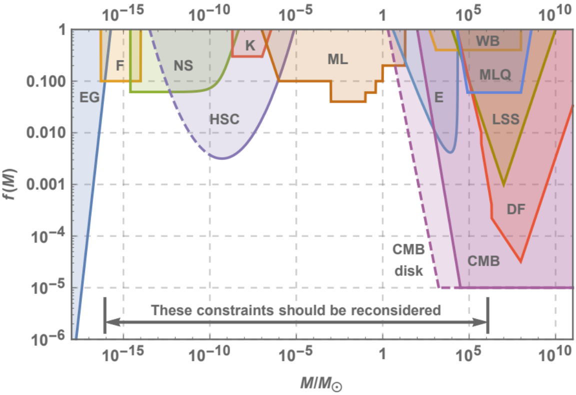
$f(R)$-гравитация

Целью данной работы является исследование возможности образования ЧД из компактных дополнительных измерений в рамках модели $f(R)$-гравитации с тензорными поправками и дополнительным пространством в виде сферы.



Мотивация

1. Ранние квазары, содержащие сверхмассивные ЧД.
2. Наблюдения LIGO, VIRGO.
3. Объяснение части скрытой массы.



Эффективная теория

$$S[g_{\mu\nu}] = \frac{m_D^{D-2}}{2} \int d^{4+n}x \sqrt{|g_D|}\, \left[f(R) + c_1 R_{AB} R^{AB} + c_2 R_{ABCD} R^{ABCD} \right] ,$$

$$f(R) = a_2 R^2 + R - 2\Lambda_D$$

Сводится к эффективной 4-мерной теории в картине Эйнштейна

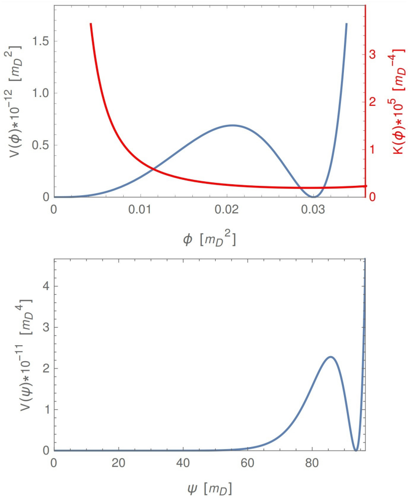
$$S = \frac{m_4^2}{2} \int d^4x \sqrt{-g_4}\, \mathrm{sign}(f') \left[R_4 + K(\phi)(\partial\phi)^2 - 2V(\phi) \right] ,$$

$$K(\phi) = \frac{1}{4\phi^2} \left[6\phi^2 \left(\frac{f''}{f'} \right)^2 - 2n\phi \left(\frac{f''}{f'} \right) + \frac{n(n+2)}{2} \right] + \frac{c_1 + c_2}{f'\phi} ,$$

$$V(\phi) = -\frac{\mathrm{sign}\,(f')}{2(f')^2} \left[\frac{|\phi|}{n(n-1)} \right]^{n/2} \left[f(\phi) + \frac{c_1 + 2c_2/(n-1)}{n} \phi^2 \right] .$$

$$n = 6, c_1 = -100, c_2 = 150, a_2 = -10, \Lambda = 3/400.$$

Замена переменных



$$\psi = m_4 \int\limits_{\phi_0}^{\phi} \sqrt{K(\phi')}\, d\phi' \,,$$

$$V(\psi) = m_4^2\, V(\phi(\psi))\,,$$

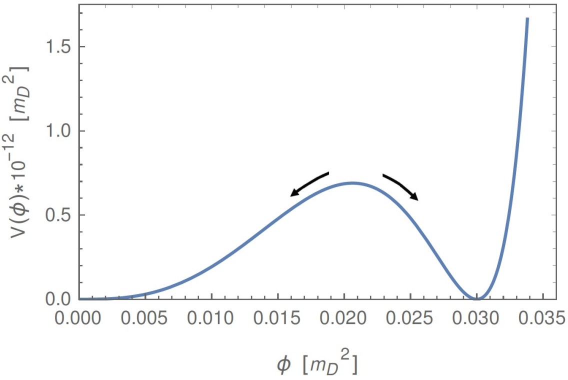
$$\phi_0 = 6 \cdot 10^{-5}.$$

$$S = \frac{m_4^2}{2} \int d^4x \sqrt{-g_4}\, R_4 +$$

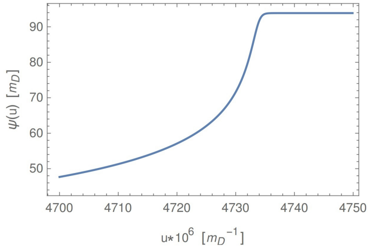
$$+ \int d^4x \sqrt{-g_4} \left[\frac{1}{2}(\partial\psi)^2 - V(\psi)\right] .$$

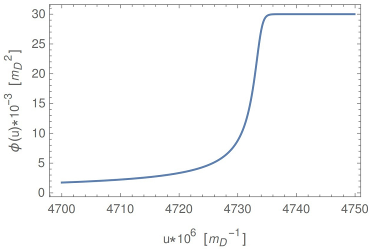
Флуктуации поля

Как образуются стенки?



Доменная стенка



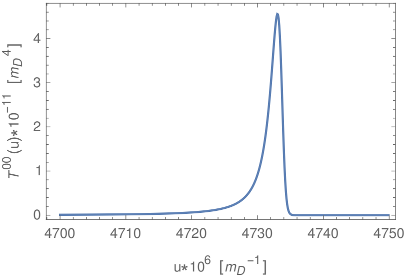


$$\psi_{uu} + \frac{2\psi_u}{u} - V'(\psi) = 0\,,$$

$$\psi_{uu} \gg 2\psi_u/u.$$

$$\partial_u \psi = \sqrt{2V(\psi)}\,,$$
$$\psi(\infty) = \psi_{min}.$$

Характеристики пузыря



$$\sigma = \int_0^\infty \varepsilon_\psi(u)\,du = 1.43 \cdot 10^{-4}$$

$$\sigma = \int_0^\infty 2V(\psi)\,du \approx 2\frac{V_{max}}{2}\,\delta$$

$$\sigma \approx 1.4 \cdot 10^{-4} \cdot (16\pi^3/15)^{-3/2} \approx 7.5 \cdot 10^{-7}\ [m_4^3]$$

$$\delta \approx 6.3 \cdot 10^{6} \cdot (16\pi^3/15)^{1/2} \approx 3.6 \cdot 10^{7}\ [m_4^{-1}]$$

Могут ли родиться ЧД?

Масса пузыря $M = 4\pi u_0^2\,\sigma$ пропорциональна квадрату радиуса стенки, вследствие чего гравитационный радиус $u_g = 2GM$ так же пропорционален квадрату радиуса стенки. Поэтому существует критический радиус, начиная с которого, пузыри полностью оказываются за горизонтом, т.е. при $u_0 > u_{cr} = 1/8\pi G\sigma$.

$$
\begin{gathered}
\phi \sim 10^{-4} - 10^{-2} \gg 12H^2 \sim 10^{-9}\,, \\
m_\psi \sim 10^{-12} \ll H \sim 10^{-5}\,, \\
\varepsilon_\psi \sim 10^{-11} \ll \varepsilon_{inf} \sim 10^{-9}\,, \\
\delta\psi \sim 10^{-6} \ll \psi \sim 100\,.
\end{gathered}
$$

Заключение

1. Удовлетворены ограничения по инфляции.
2. Вычислены характерные параметры стенки:
   $\delta \approx 3.6 \cdot 10^7\ [m_4^{-1}]$, $\sigma \approx 7.5 \cdot 10^{-7}\ [m_4^3]$.
   Это позволит рассчитать спектр масс и поставить ограничения на параметры теории.

Спасибо за внимание!