

# Компактные дополнительные измерения в качестве источника черных дыр

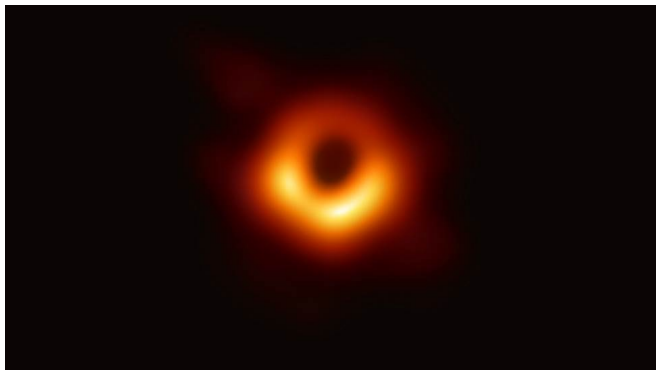
Максим Краснов

Национальный исследовательский ядерный университет  
«МИФИ»

27.05.2022

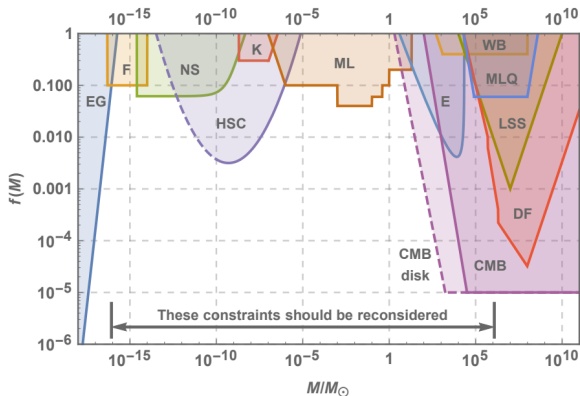
## $f(R)$ -гравитация

Целью данной работы является исследование возможности образования ПЧД 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

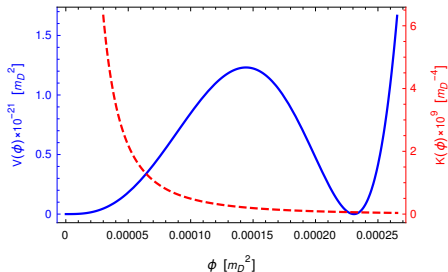
$$S = \frac{m_4^2}{2} \int d^4x \sqrt{-g_4} \operatorname{sign}(f') \left[ R_4 + K(\phi)(\partial\phi)^2 - 2V(\phi) \right],$$

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

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

$$n = 6, c_1 = -8000, c_2 = -5000, a_2 = -500.$$

# Замена переменных



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

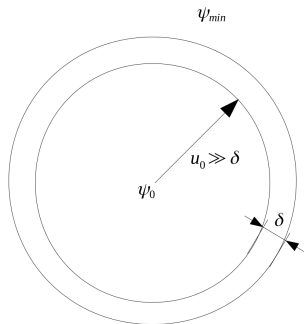
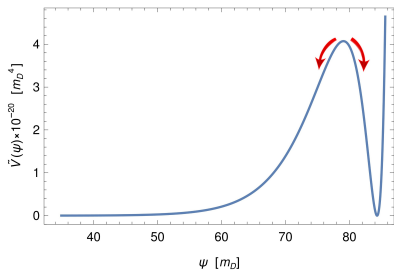
$$\tilde{V}(\psi) = m_4^2 V(\phi(\psi)),$$

$$\phi_0 = 0.46 \cdot 10^{-7}.$$

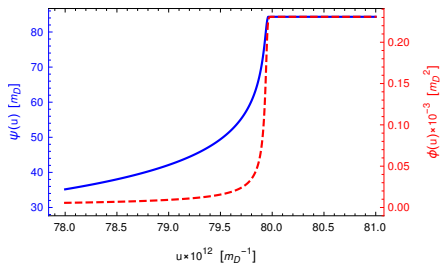
$$S = \frac{m_4^2}{2} \int d^4x \sqrt{-g_4} R_4 + \int d^4x \sqrt{-g_4} \left[ \frac{1}{2} (\partial\psi)^2 - \tilde{V}(\psi) \right].$$

# Флуктуации поля

Как образуются стенки?



# Доменная стенка



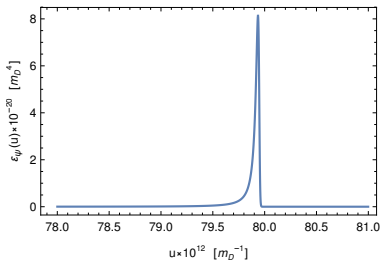
$$\psi_{uu} + \frac{2\psi_u}{u} - \tilde{V}'(\psi) = 0,$$

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

$$\partial_u \psi = \sqrt{2\tilde{V}(\psi)},$$

$$\psi(\infty) = \psi_{min}.$$

# Характеристики пузыря



$$\sigma = \int_0^{\infty} \varepsilon_{\psi}(u) du = 5 \cdot 10^{-9}$$

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

$$\begin{aligned} \sigma &\approx 5 \cdot 10^{-9} \cdot (16\pi^3/15)^{-3/2} \\ &\approx 2.63 \cdot 10^{-11} [m_4^3] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta &\approx 1.2 \cdot 10^{11} \cdot (16\pi^3/15)^{1/2} \\ &\approx 6.9 \cdot 10^{11} [m_4^{-1}] \end{aligned}$$



## Коллапс доменных стенок

Размер стенки сразу после инфляции —  $u_0 = H_{\text{inf}}^{-1} e^{N_{\text{inf}} - N}$ .

Масса доменной стенки  $m_w(t) = 4\pi(u_0 a(t))^2 \sigma(t)$ , а

грав. радиус  $u_g(t) = 2Gm_w(t)$ .

Момент пересечения грав. радиуса —  $t_*$ .

$M_{\text{PBH}} \simeq m_w(t_*) \simeq u_g(t_*)/2G \simeq u_w(t_*)/2G \equiv u_0 a(t_*)/2G$ .

$$\phi \sim 10^{-6} - 10^{-4} \gg 12H^2,$$

$$\sqrt{\tilde{V}''(\psi_{\text{max}})} \sim 10^{-11} \rightarrow H \gg 10^{-11},$$

$$\varepsilon_\psi \ll \varepsilon_{\text{inf}} \sim H^2 m_4^2 \rightarrow H \gg 10^{-11},$$

$$\delta\psi = H/2\pi \ll \psi \sim 10.$$

$$\Rightarrow H \sim 10^{14} \text{ ГэВ}$$

## Заключение

- 1 Предложен механизм образования ПЧД.
- 2 Показано, что ПЧД образуются из коллапсирующих доменных стенок с характерными параметрами:  
 $\delta \approx 6.9 \cdot 10^{11} [m_4^{-1}]$ ,  $\sigma \approx 2.63 \cdot 10^{-11} [m_4^3]$ .
- 3 Коллапс стенок происходит сразу после инфляции. Масса черной дыры, образовавшейся, например, на 25-ом е-фолде:  $M \sim 4\pi M_4^2 H_{\text{inf}}^{-1} e^{35} \sim 10^{41} [\text{GeV}] \sim 10^{-16} [M_\odot]$

Спасибо за внимание!