

# Распад ложного вакуума в нестандартных потенциалах

**Выполнил:**

Джамалдинов Эльдар Шахмирзаевич

**Научный руководитель:**

к.ф.-м.н. Демидов Сергей Владимирович

# Квазиклассическое приближение

$$\Gamma = Ae^{-S_b}$$

$$S_E [q_b] = \int_{-\infty}^{+\infty} d\tau \left[ \frac{M}{2} \left( \frac{dq_b}{d\tau} \right)^2 + V(q_b) \right]$$

# Описание распада ложного вакуума

$$S_E = \int d^d x \left[ \frac{1}{2} (\partial_\mu \varphi \partial^\mu \varphi) + V(\varphi) \right]$$

$$-\partial_\mu \partial^\mu \varphi + \frac{\partial V}{\partial \varphi} = 0$$



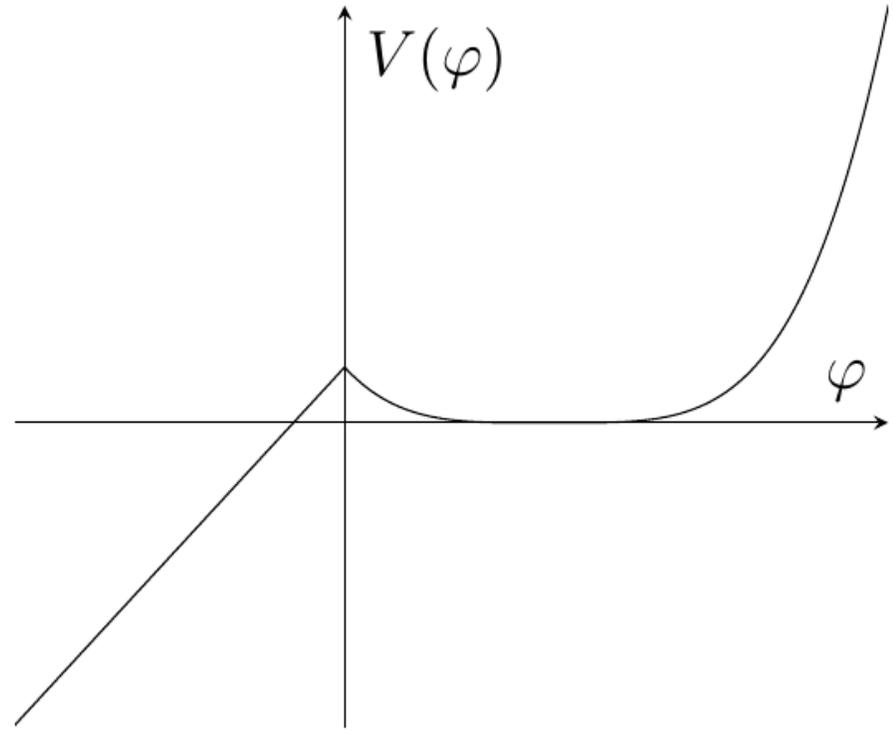
$$\varphi'' + \frac{d-1}{r} \varphi' = \frac{\partial V}{\partial \varphi}$$

$$\varphi(r \rightarrow \infty) = \varphi_-$$

$$\frac{d\varphi}{dr}(r=0) = 0$$

# Пример отскокового решения

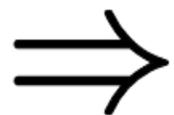
$$V(\varphi) = \begin{cases} \lambda_- \varphi_0^3 \varphi + \frac{1}{4} \lambda_+ \varphi_0^4, & \varphi < 0 \\ \frac{1}{4} \lambda_+ (\varphi - \varphi_0)^4, & \varphi > 0 \end{cases}$$



# Пример отскокового решения

$$\varphi < 0 \quad \varphi(r) = \frac{\lambda_- \varphi_0^3}{8} r^2 + C$$

$$\varphi > 0 \quad \varphi(r) = \frac{2\sqrt{2}\rho}{\sqrt{\lambda_+}(\rho^2 - r^2)} + \varphi_0$$



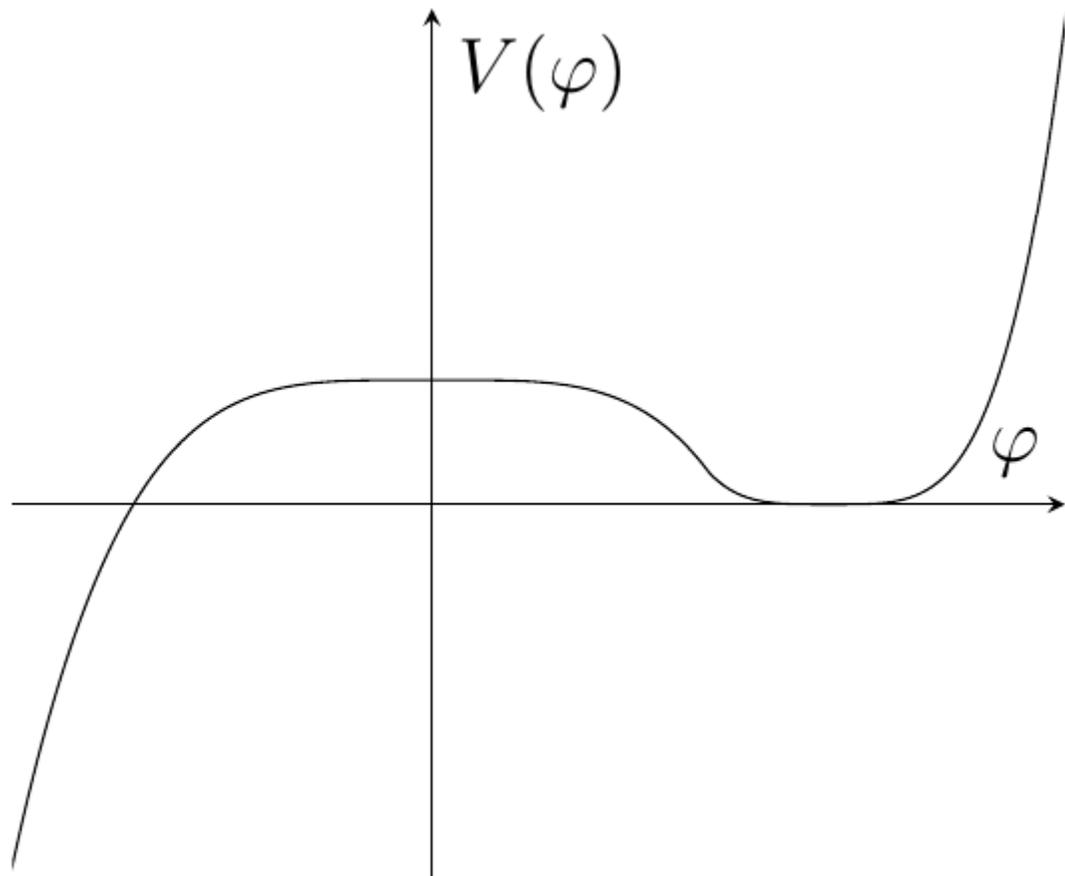
$$\varphi(r) = \frac{\lambda_- \varphi_0^3}{8} r^2 - \varphi_0 \left( 1 + \frac{\lambda_+}{\lambda_-} \right), \quad \varphi < 0$$

$$\varphi(r) = \frac{8\lambda_- \varphi_0}{8\lambda_+ - \lambda_-^2 \varphi_0^2 r^2} + \varphi_0, \quad \varphi > 0$$

# Потенциал, в котором отсутствует отскоковое решение

$$V(\varphi) = \begin{cases} -\frac{\lambda_-}{4} (\varphi^4 - \beta^3 \varphi_0^4), & \varphi < \beta \varphi_0 \\ \frac{\lambda_+}{4} (\varphi - \varphi_0)^4, & \varphi > \beta \varphi_0 \end{cases},$$

$$\beta = \frac{\lambda_+^{1/3}}{\lambda_+^{1/3} + \lambda_-^{1/3}}.$$



# Потенциал, в котором отсутствует отскоковое решение

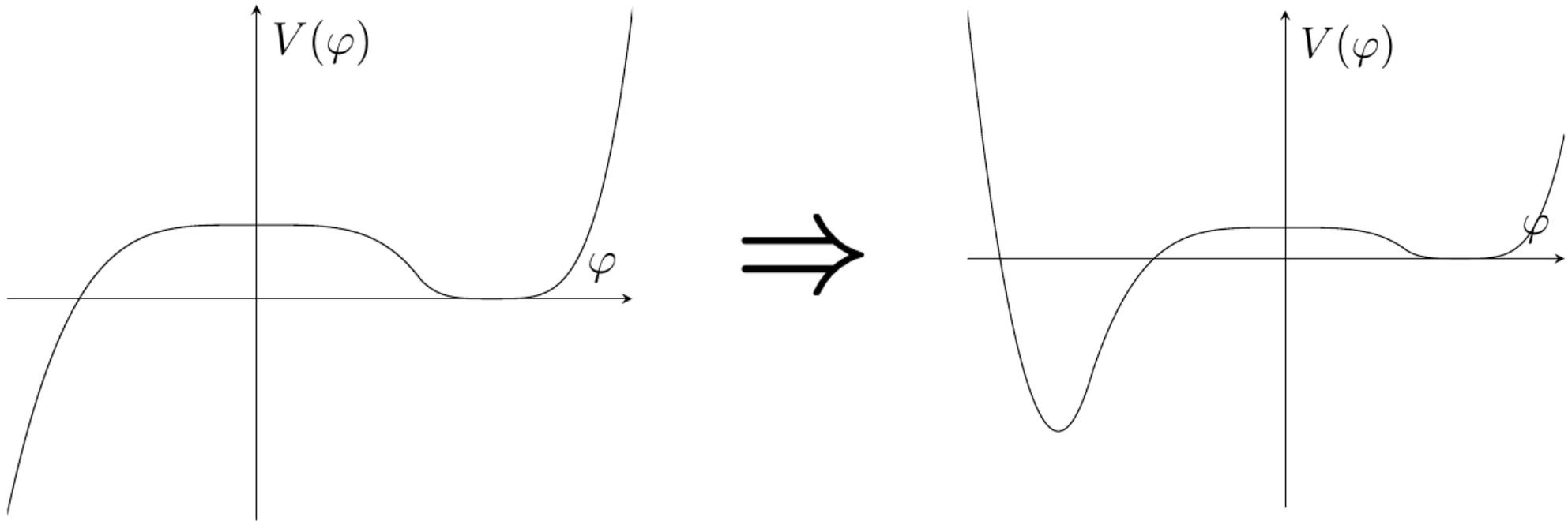
$$\varphi(r) = \frac{2\sqrt{2}\rho_-}{\sqrt{\lambda_-}(\rho_-^2 + r^2)}, \quad \varphi < \beta\varphi_0$$

$$\varphi(r) = \frac{2\sqrt{2}\rho_+}{\sqrt{\lambda_+}(\rho_+^2 - r^2)} + \varphi_0, \quad \varphi > \beta\varphi_0$$

$\Rightarrow$  Сшивка только при  $r = 0$

# Идея метода

- Модификация: добавление квадратичного потенциала, сшивка которого с левой частью потенциала будет осуществляться в точке  $\varphi = \Lambda$

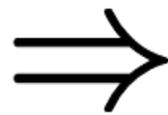


# Идея метода

$$V(\varphi) = \frac{m_0^2}{2}\varphi^2 + b\varphi + c$$

$$m_0^2\varphi + b \Big|_{\varphi=\Lambda} = -\lambda_- \varphi^3 \Big|_{\varphi=\Lambda} \implies b = -\lambda_- \Lambda^3 - m_0^2 \Lambda$$

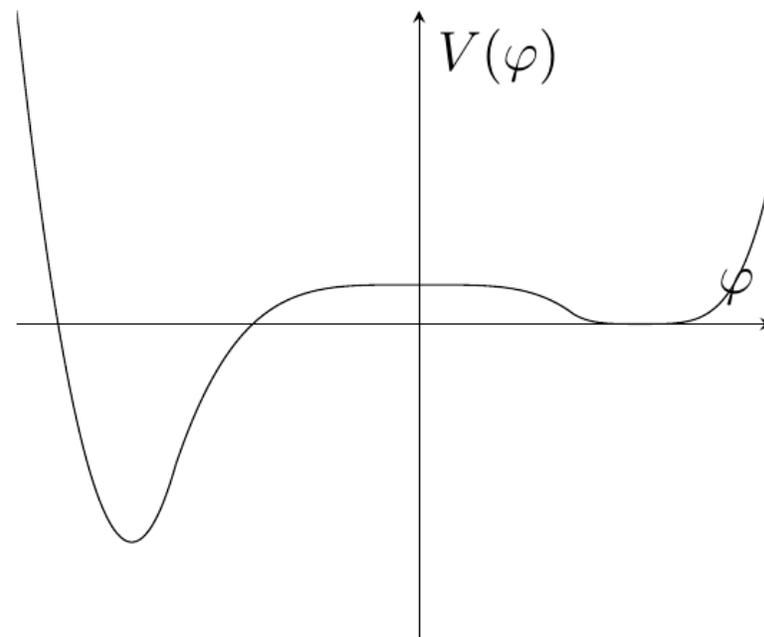
$$\frac{m_0^2\varphi^2}{2} + (-\lambda_- \Lambda^3 - m_0^2 \Lambda)\varphi + c \Big|_{\varphi=\Lambda} = -\frac{\lambda_-}{4}(\varphi^4 - \beta^3 \varphi_0^4) \Big|_{\varphi=\Lambda}$$



$$c = \frac{m_0^2 \Lambda}{2} + \frac{3\lambda_- \Lambda^4}{4} + \frac{\lambda_-}{4} \beta^3 \varphi_0^4$$

# Реализация метода

$$V(\varphi) = \begin{cases} \frac{m_0^2}{2}\varphi^2 + b\varphi + c, & \varphi < \Lambda \\ -\frac{\lambda_-}{4}(\varphi^4 - \beta^3\varphi_0^4), & \Lambda < \varphi < \beta\varphi_0 \\ \frac{\lambda_+}{4}(\varphi - \varphi_0)^4, & \varphi > \beta\varphi_0 \end{cases}$$



# Реализация метода

$$\varphi'' + \frac{3}{r}\varphi' = \lambda_+(\varphi - \varphi_0)^3, \quad \varphi > \beta\varphi_0,$$

$$\varphi'' + \frac{3}{r}\varphi' = -\lambda_-\varphi^3, \quad \Lambda < \varphi < \beta\varphi_0$$

$$\varphi'' + \frac{3}{r}\varphi' = m_0^2\varphi - \lambda_-\Lambda^3 - m_0^2\Lambda, \quad \varphi < \Lambda.$$

# Реализация метода

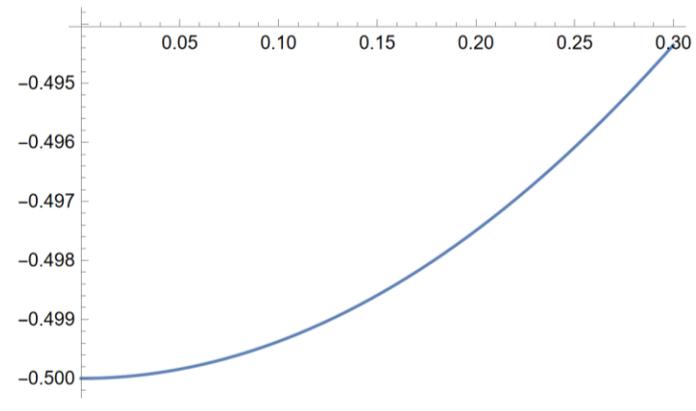
$$\varphi(r) = \frac{\lambda_- \Lambda^3 + m_0^2 \Lambda}{m_0^2} + A \frac{I_1(m_0 r)}{r} + B \frac{K_1(m_0 r)}{r}$$



$$\varphi(r) = \frac{\lambda_- \Lambda^3 + m_0^2 \Lambda}{m_0^2} + A \frac{I_1(m_0 r)}{r}$$

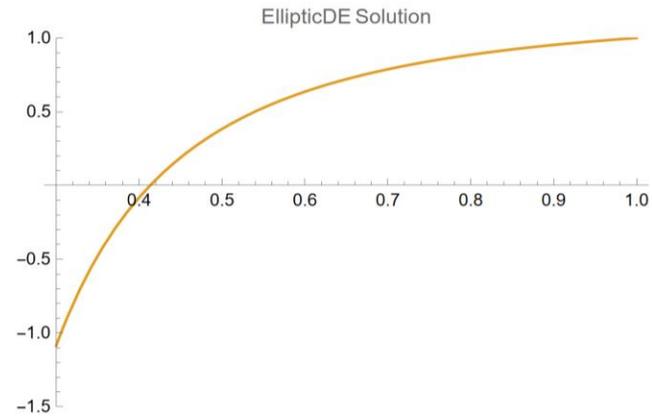
# Результаты

```
Plot[-1 +  $\frac{\text{BesselI}[1, x]}{x}$ , {x, 0, 0.3}, PlotRange -> All]
```



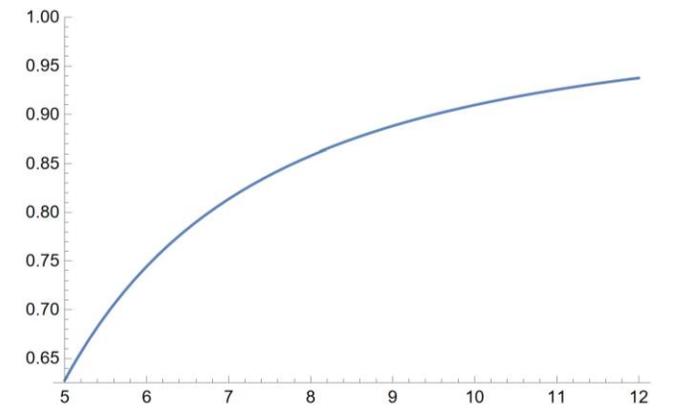
$$\varphi < \Lambda$$

```
Plot[Evaluate[y[x] /. sol], {x, 0.3, 1}, PlotRange -> All]
```



$$\Lambda < \varphi < \beta\varphi_0$$

```
Plot[1 +  $\frac{2\sqrt{2}}{\sqrt{0.1}(1-x^2)}$ , {x, 5, 12}, PlotRange -> {0.62, 1.00}]
```



$$\varphi > \beta\varphi_0$$

# Список литературы

1. В. А. Рубаков, Классические калибровочные поля: Бозонные теории: Уч. п. Изд. 2-е, испр. и доп. --- М.: КомКнига, 2005. --- 296 с.
2. J. R. Espinosa, J. Huertas, Pseudo - Bounces vs. New Instantons
3. J. R. Espinosa, Tunneling Without Bounce
4. V. F. Mukhanov, E. Rabinovici, A. S. Sorin, Quantum Fluctuations and New Instantons I: Linear Unbounded Potential.
5. V. F. Mukhanov, E. Rabinovici, A. S. Sorin, Quantum Fluctuations and New Instantons II: Quartic Unbounded Potential.
6. Lipatov L. N., High energy asymptotics of multi-color QCD and exactly solvable lattice models, JETP Lett. 59 (1994) 596 - 599; Pisma Zh. Eksp. Teor. Fiz. 59 (1994) 571 - 574.