

# Сильные неоднородности, как эффекты скалярного поля в ранней Вселенной

Максим Краснов  
A23-121

## Цель

Целью данной работы является получение теоретического описания сильных неоднородностей, обусловленных динамикой скалярного поля.

Для целей работы выбрана модель аксионо-подобного поля (ALP):

$$V(\phi) = \Lambda^4 \left[ 1 - \cos \left( \frac{\phi}{f} \right) \right], \quad (1)$$

в которой  $\Lambda \ll f$ .

## Мотивация

Во время космологической инфляции скалярное поле может флуктуировать, в случае ALP обычно говорят о флуктуациях фазы:

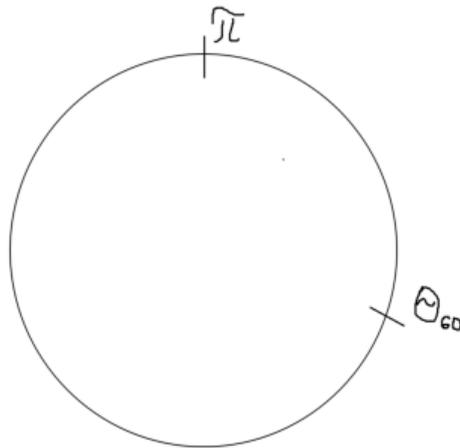


Рис. 1: Схематическое изображение фазы.

## Что могут объяснить ALP?

Исторически аксион предназначался для решения проблемы сильного CP - нарушения.

ALP-модели используются для объяснения:

- Скрытой массы
- Чёрных дыр, в том числе их кластеров

## Приближение бесконечно тонкой стенки

Подход, впервые разработанный Израедем. Бесконечно тонкая поверхность разделяет пространство на две части (+ и -), каждая со своей метрикой.

Обозначения:  $S_{\mu\nu}$  - поверхностный ТЭИ,  $h_{\mu\nu}$  - индуцированная на стенке метрика,  $K_{\mu\nu}$  - тензор внешней кривизны,  $\xi_\mu$  - единичный нормальный вектор к стенке.

$$h_{\mu\nu} := g_{\mu\nu} - \epsilon \xi_\mu \xi_\nu, \quad (2)$$

$$K_{\mu\nu} := h_\mu^\alpha \nabla_\alpha \xi_\nu = D_\mu \xi_\nu. \quad (3)$$

- Условия сшивки метрик:

$$[h_{\mu\nu}]^\pm = 0, [K_{\mu\nu}]^\pm = 8\pi\epsilon \left( -S_{\mu\nu} + \frac{1}{2} S h_{\mu\nu} \right). \quad (4)$$

- Уравнение движения стенки:

$$S_{\mu\nu} \bar{K}^{\mu\nu} = [T_{\mu\nu} \xi^\mu \xi^\nu]^\pm. \quad (5)$$

## Проблемы приближения тонкой стенки

Рассмотренное приближение не работает в случае суперкритических стенок.

Постановка задачи выглядит следующим образом:

| Внутри стенки                           | Стенка   | Снаружи стенки                          |
|---|--|---|
| $G_{\mu\nu}^- = -8\pi G T_{\mu\nu}^-$ , | $S_{\mu\nu} \bar{K}^{\mu\nu} = [T_{\mu\nu} \xi^\mu \xi^\nu]^\pm$ , | $G_{\mu\nu}^+ = -8\pi G T_{\mu\nu}^+$ , |
| $\nabla^\alpha T_\alpha^{(-)\mu} = 0$ . | + сохранение энергии   | $\nabla^\alpha T_\alpha^{(+)\mu} = 0$ . |
| + граничные условия                     | $D_\mu S_\nu^\mu = -[T_{\mu\alpha} \xi^\mu h_\nu^\alpha]^\pm$ .    | + граничные условия                     |

В данном приближении стенка оказывает влияние на метрику только через граничные условия.

## Толстая стенка

Без приближений — уравнения Эйнштейна в присутствии скалярного поля и вещества.

ALP Лагранжиан выбирается в форме:

$$\mathcal{L} = \frac{1}{2} g^{\mu\nu} \partial_\mu \phi \partial_\nu \phi - \Lambda^4 \left[ 1 - \cos \left( \frac{\phi}{f} \right) \right]. \quad (6)$$

Метрика в виде:

$$ds^2 = e^{2\alpha(t,r)} dt^2 - e^{2\beta(t,r)} dr^2 - R^2(t,r) d\Omega^2. \quad (7)$$

Уравнения поля:

$$G_{\mu\nu} = -8\pi G (T_{\mu\nu}^{(\phi)} + T_{\mu\nu}^{(f)}) \quad (8)$$

## Планы и результаты

Главный результат:

- Написан код для получения уравнений поля

Планы:

- Решить задачу численного моделирования
- Рассмотреть задачу о распределении контуров стенок

Спасибо за внимание!