

# Единая модель происхождения скрытой массы и первичных чёрных дыр в ранней Вселенной

А. А. Кириллов, Б. С. Мурыгин

НИЯУ МИФИ

2023

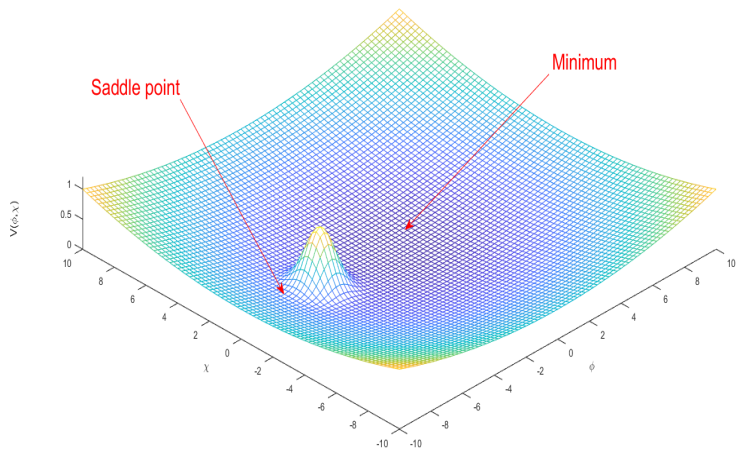
# Введение

- ▶ Недавно открытые при больших красных смещениях галактики и массивные квазары ( $z > 7$ ) сильно выбиваются за рамки стандартного процесса образования крупномасштабной структуры Вселенной.
- ▶ Раннее формирование галактик трудно совместимо с существующими моделями скрытой массы (СМ), а образование сверхмассивных черных дыр образующих квазары трудно совместимо с их астрофизическим происхождением.
- ▶ Теории объясняющие одну из проблем как правило игнорируют объяснение второй.
- ▶ Рассматриваемая в работе модель потенциально способна решить обе проблемы единым образом.

# Введение

- ▶ В модели рассматривается массивное скалярное поле и образующиеся из него солитоны - квазистабильные полевые образования.
- ▶ Частицы скалярного поля составляют частицы  $SM$ , а коллапс солитонов способен привести к образованию первичных черных дыр (ПЧД).
- ▶  $SM$  в модели состоит из двух компонент: равномерно распределенной по Вселенной (частицы поля) и сконцентрированной в кластерах (ПЧД и частицы).

# Введение



# Модель

Лагранжиан для двух скалярных полей:

$$\mathcal{L} = \frac{1}{2} g_{\mu\nu} (\partial^\mu \varphi \partial^\nu \varphi + \partial^\mu \chi \partial^\nu \chi) - \mathcal{V}(\varphi, \chi)$$

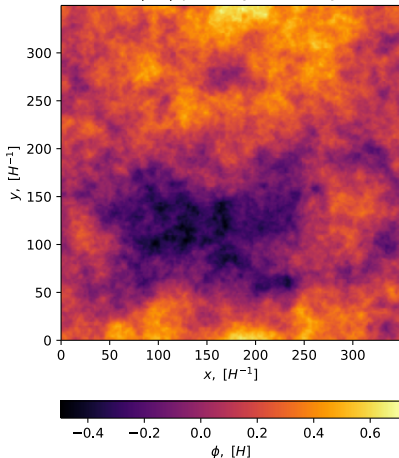
Уравнения движения в сопутствующих координатах:

$$\Phi_{,\eta\eta} + 3Ha\Phi_{,\eta} - \nabla^2\Phi = -a^2 \frac{\partial V}{\partial \Phi},$$

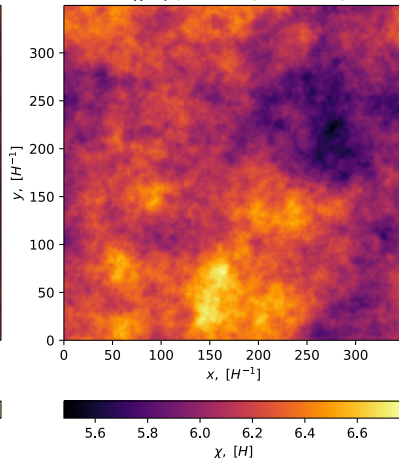
где  $a$  — масштабный фактор,  $H$  — параметр Хаббла, а  $\Phi = [\varphi, \chi]$

# Начальные условия

Field  $\phi$ :  $\mu_0 = 0$ ,  $\sigma_e = 0.16$ ,  $N_e = 2$



Field  $\chi$ :  $\mu_0 = 6.0$ ,  $\sigma_e = 0.16$ ,  $N_e = 2$



# Модель

Потенциал:

$$\mathcal{V}(\varphi, \chi) = \frac{m^2}{2}(\varphi^2 + \chi^2) + \Lambda^4 \exp \left[ -\lambda((\varphi - \varphi_0)^2 + (\chi - \chi_0)^2) \right]. \quad (1)$$

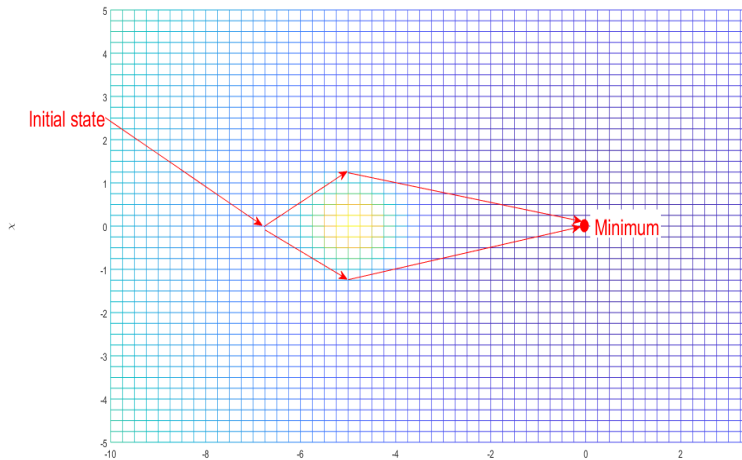
Параметры<sup>1</sup>:  $m, \Lambda, \lambda, \varphi_0 = -5, \chi_0 = 0$ .

При таких значениях параметров потенциал имеет локальный максимум в точке  $\varphi = -5, \chi = 0$ .

---

<sup>1</sup>Далее все величины даны в единицах  $H$

# Модель

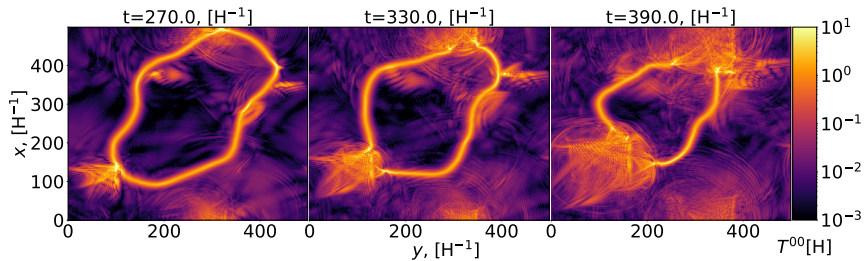




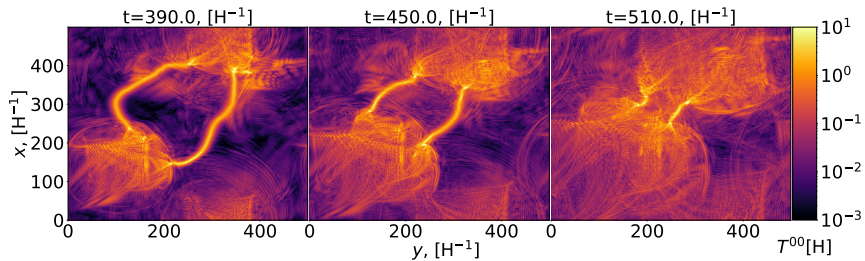
# Расчет

- ▶ Численно рассчитывается эволюция начальной полевой конфигурации.
- ▶ Также проводится расчет зависимости параметра Хаббла и масштабного фактора от времени в модели инфляции Старобинского.

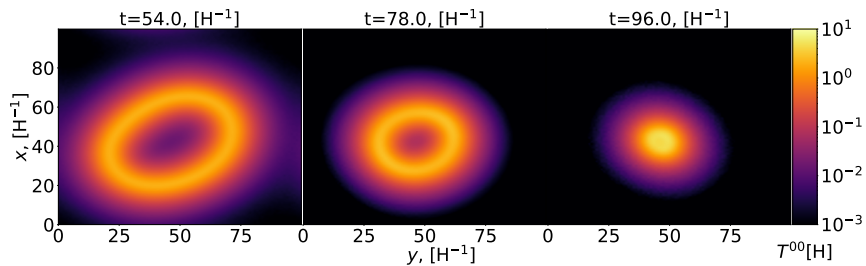
# Результаты



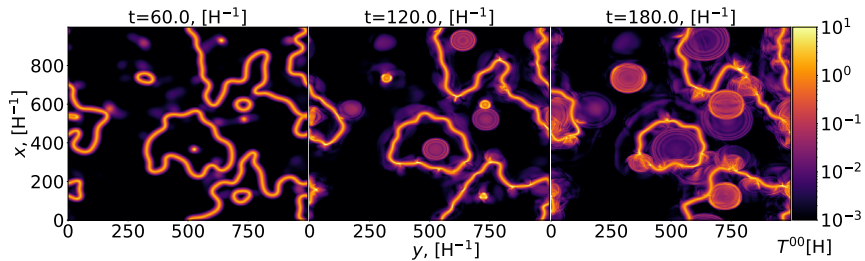
# Результаты



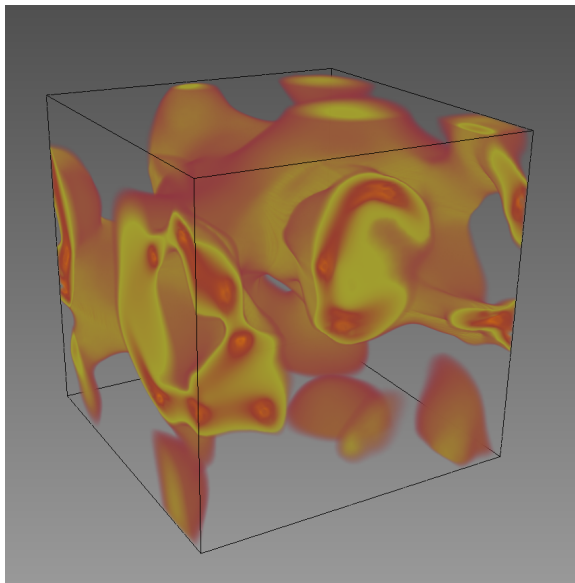
# Результаты



# Результаты



# Результаты



# Заключение

- ▶ Рассмотрена модель двухкомпонентной скрытой массы из массивного скалярного поля и ПЧД.
- ▶ ПЧД в данной модели образуются в кластерах в результате коллапса солитонов.
- ▶ Модель может объяснить раннее образование галактик и сверхмассивных квазаров.
- ▶ Проведены численные расчеты, демонстрирующие эволюцию полевых конфигураций и появление солитонных структур.