

Формирование солитонной пены в ранней Вселенной

Б.С. Мурыгин, А.А. Кириллов, В.В. Никулин

НИЯУ МИФИ

НАУЧНАЯ СЕССИЯ
СЕКЦИИ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ
ОТДЕЛЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК РАН,
посвящённая 300-летию Российской академии наук



Дубна
ОИЯИ
1–5
апреля
2024 г.

Содержание

- Модель
- Динамические эффекты:
 - Коллапс пузырей
 - Образование дырок в пузырях
 - Переприсоединение
 - Излучение частиц
 - Образование солитонной пены

Введение

- Первая классификация и обсуждение эволюции топологических дефектов (солитонов) во Вселенной была дана в статье (Киббл, 1976).
- После этого было опубликовано множество работ, где рассматривались различные типы солитонов (струны, доменные стенки, монополи и тд), их свойства и возможное космологическое значение.

Введение

- Солитоны использовались как возможные решения различных проблем космологии: природа темной энергии и темной материи, генерация первичных неоднородностей.
- После 2000-х интерес к солитонам существенно снизился, что связано с рядом неудач этого класса моделей.

Введение

- Основной механизм генерации солитонов --- их образование в фазовых переходах.
- Такой механизм плохо согласуется с наблюдательными данными так как он приводит к слишком большим первичным неоднородностям, либо к доминированию во Вселенной доменных стенок (если они топологически стабильны).

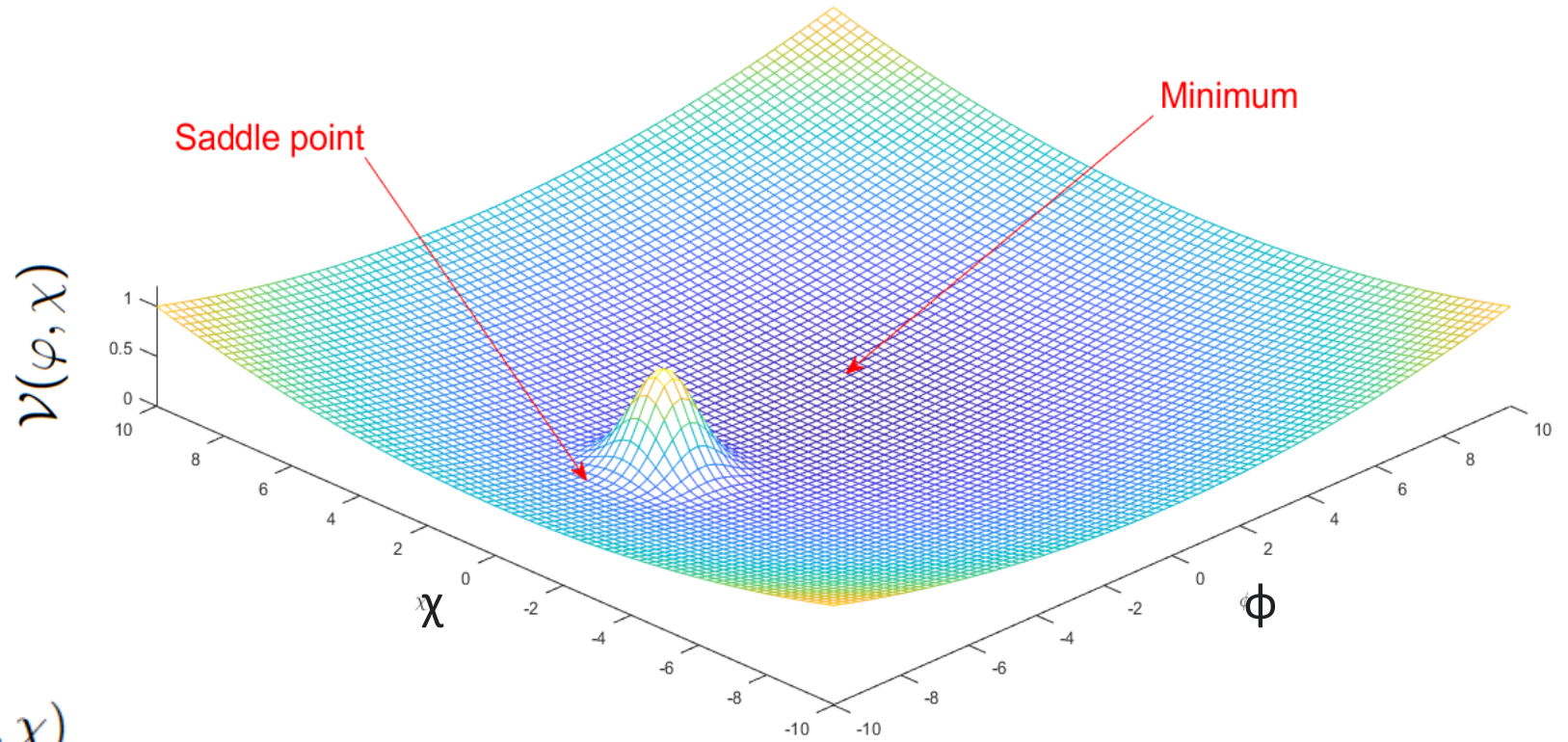
Введение

- Само появление солитонных решений в полевых моделях не запрещено, если механизм их образования отличен от фазовых переходов.
- В полевых моделях с достаточно сложным потенциалом появление солитонов является неизбежным.
- Солитоны могут приводить к образованию ПЧД, как было показано в работе (Рубин, Хлопов, Сахаров, 2000).
- В рамках данной работы рассматривается механизм образования солитонов, не связанный с фазовыми переходами.

Модель

Потенциал модели в пространстве полей ϕ и χ .

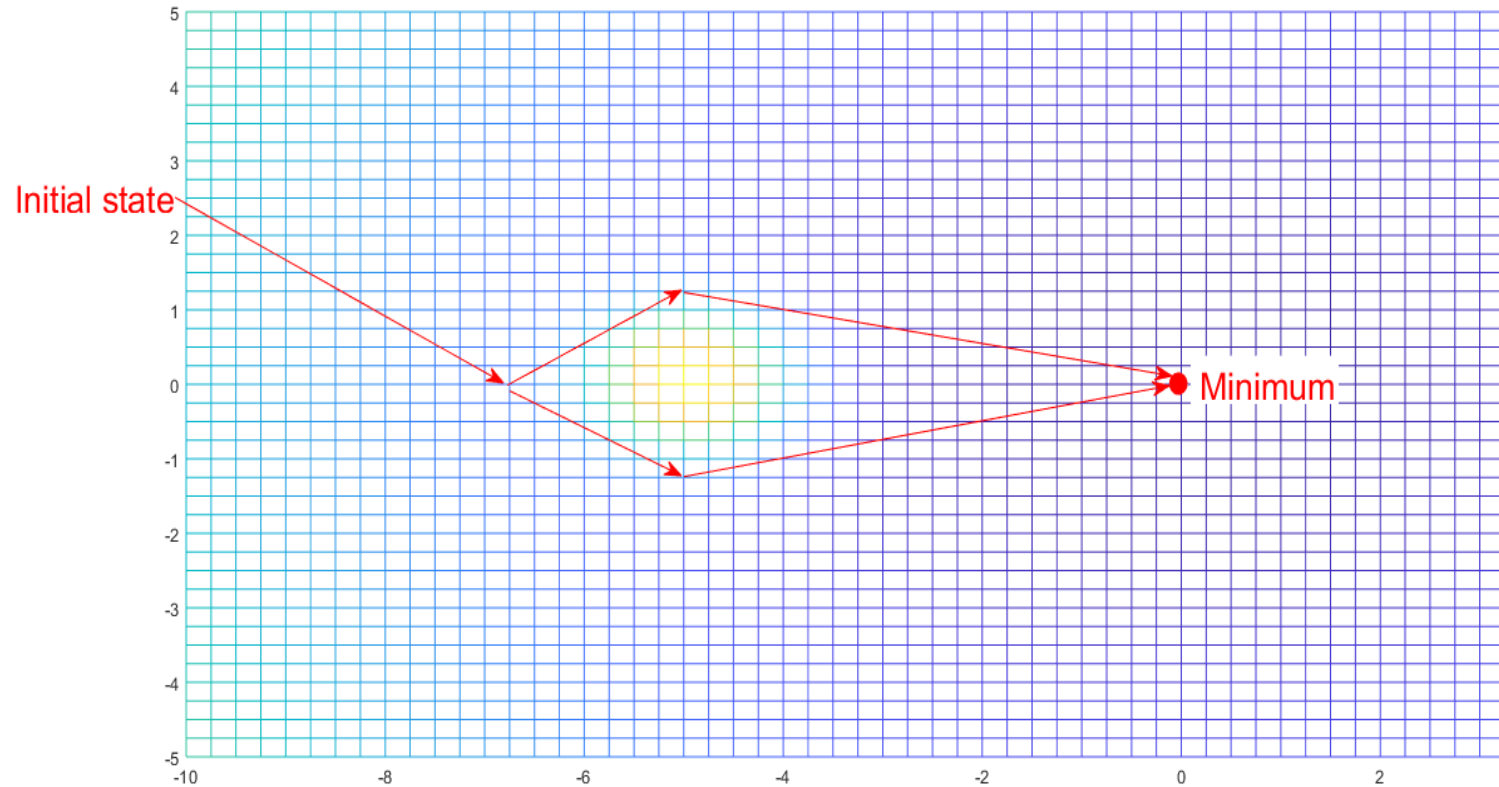
Стоит отметить что в модели только один вакуум, а также в потенциале есть седловая точка (указана красной стрелкой)



$$\mathcal{L} = \frac{1}{2}(\partial\phi)^2 + \frac{1}{2}(\partial\chi)^2 - \mathcal{V}(\phi, \chi)$$

$$\mathcal{V}(\phi, \chi) = \frac{m^2}{2}(\phi^2 + \chi^2) + \Lambda^4 \exp \left[-\lambda((\phi - \phi_0)^2 + (\chi - \chi_0)^2) \right].$$

Модель

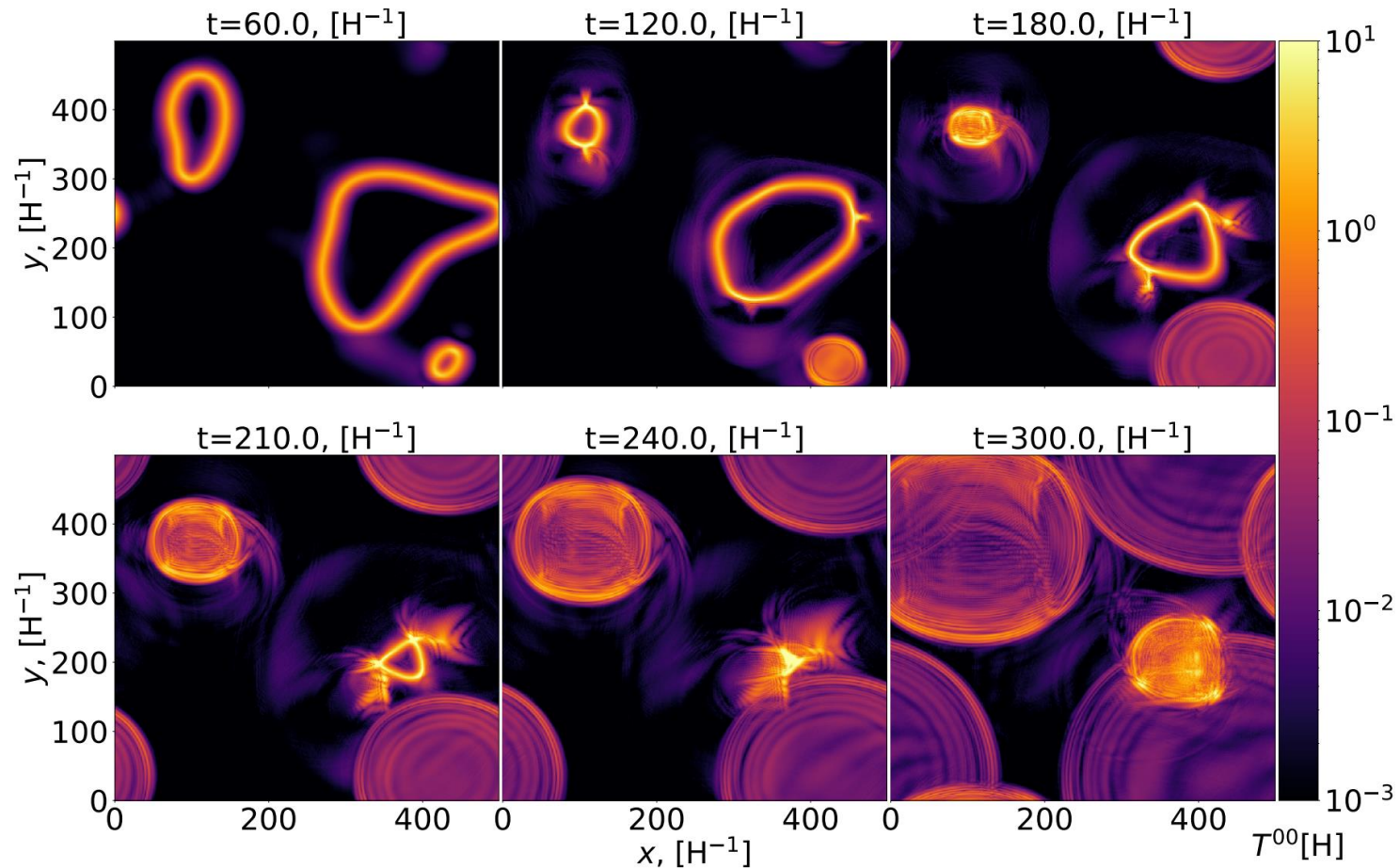


Потенциал модели в пространстве полей ϕ и χ (вид сверху).

На рисунке красными стрелками указаны начальные значения полей и путь скатывания полей в минимум необходимый для образования доменной стенки.

Для образования доменной стенки скатывание должно происходить одновременно с обеих сторон от локального максимума.

Коллапс пузырей

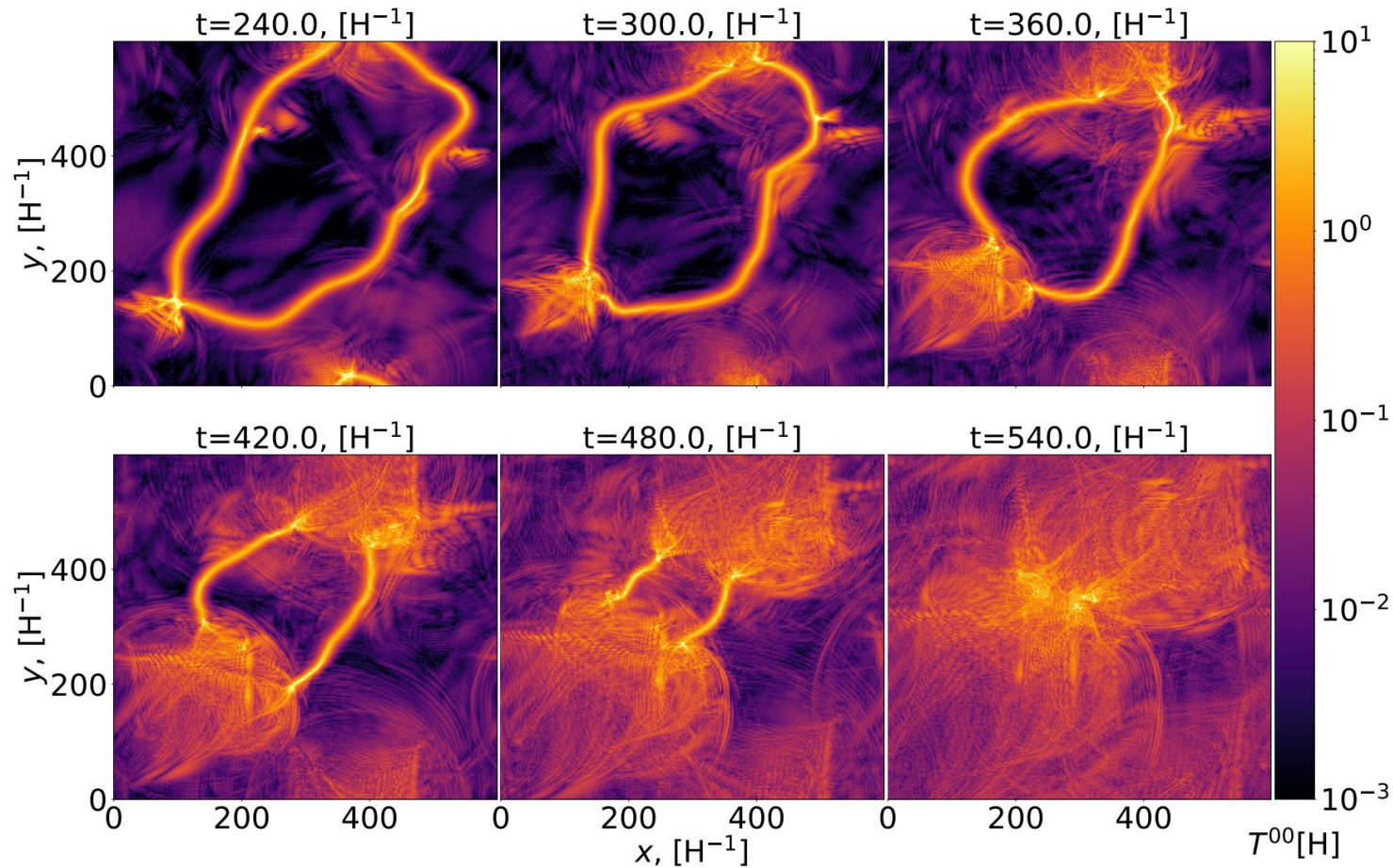


Двумерное распределение плотности энергии полей в физическом пространстве.

На рисунке показана эволюция вакуумных пузырей в модели.

В данной работе все двумерные рисунки это двумерные срезы в рамках трехмерной симуляции.

Появление дырок в стенках

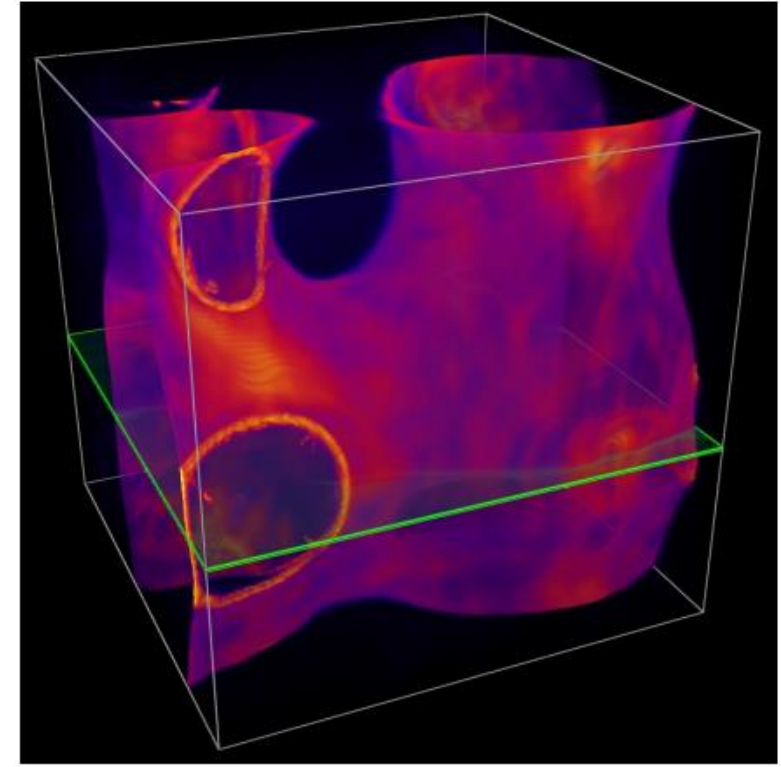
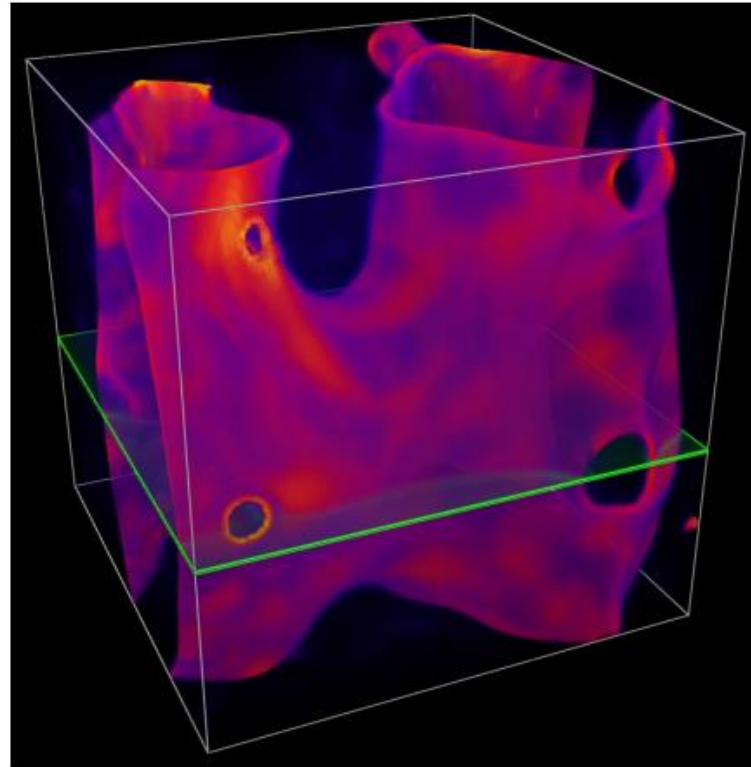
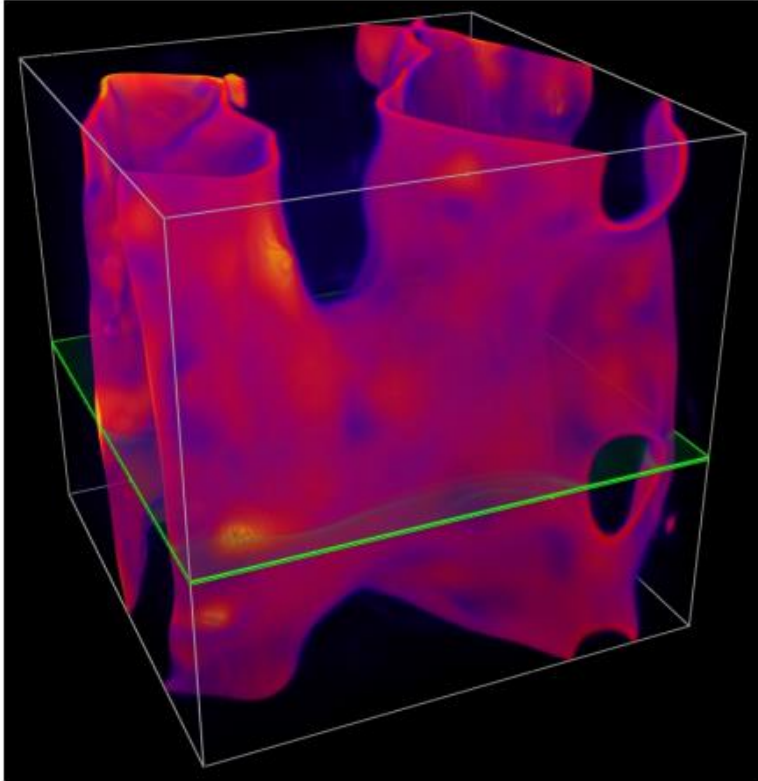


На рисунке показано образование дырок (ограниченных струнами) в вакуумных пузырях.

На первой и второй картинках в верхнем ряду можно увидеть образование двух дырок в вакуумных пузырях.

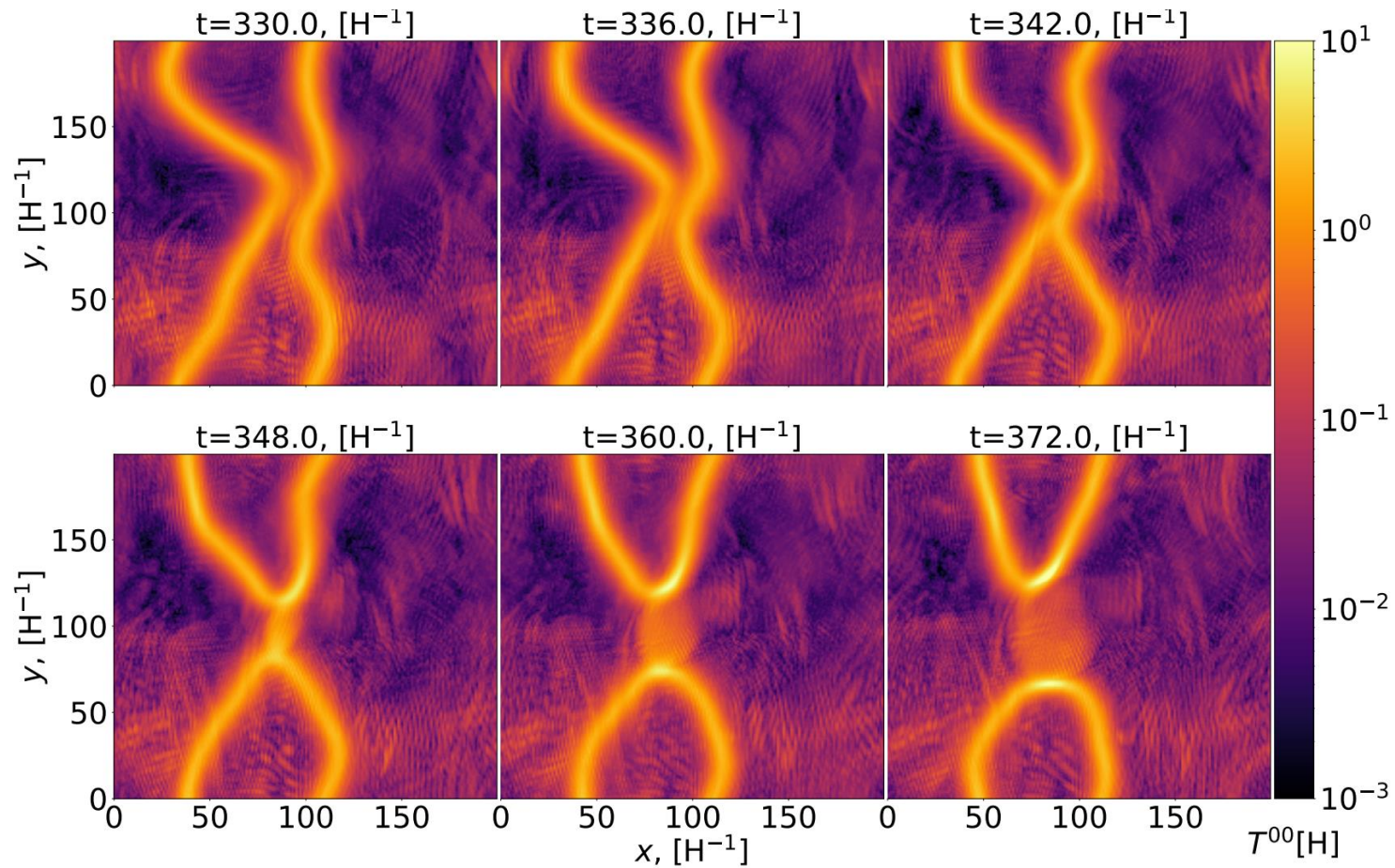
После образования дырок пузыри стремятся к коллапсу, механизм которого, отличен от коллапса чистых пузырей.

Появление дырок в стенках



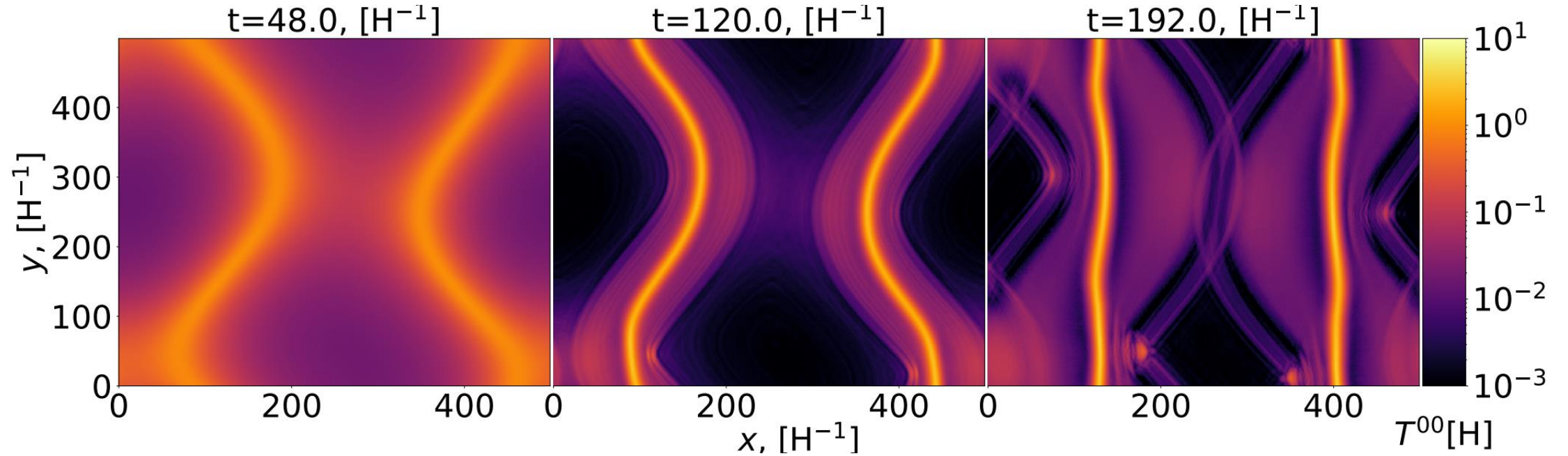
На рисунках показано образование дырок в вакуумном пузыре (образование происходит на второй картинке) в трехмерной картине.

Переприсоединение



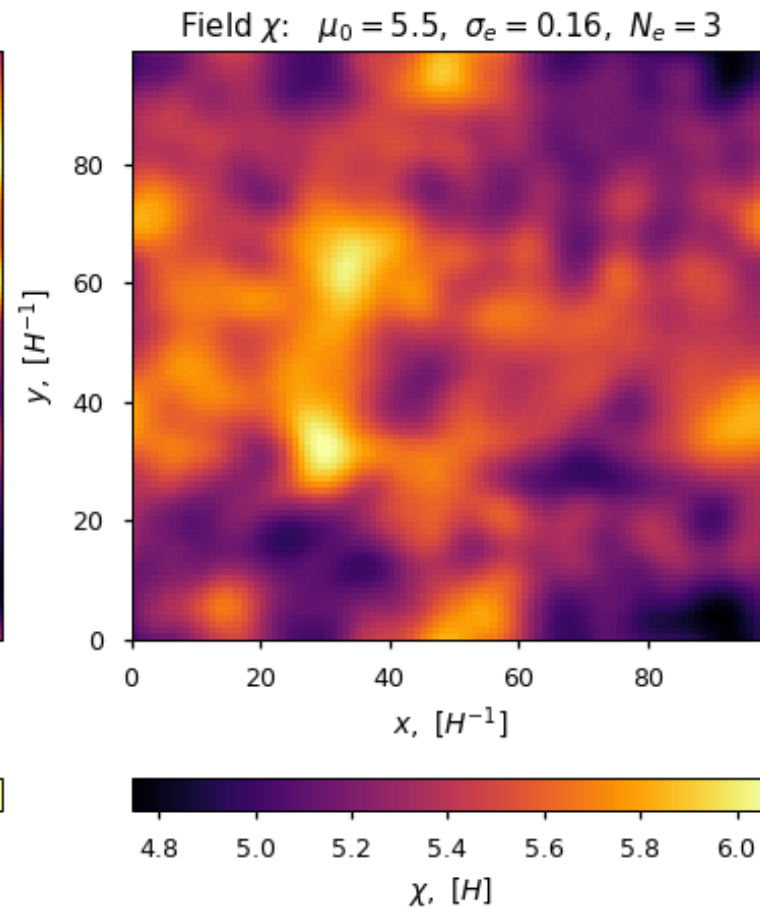
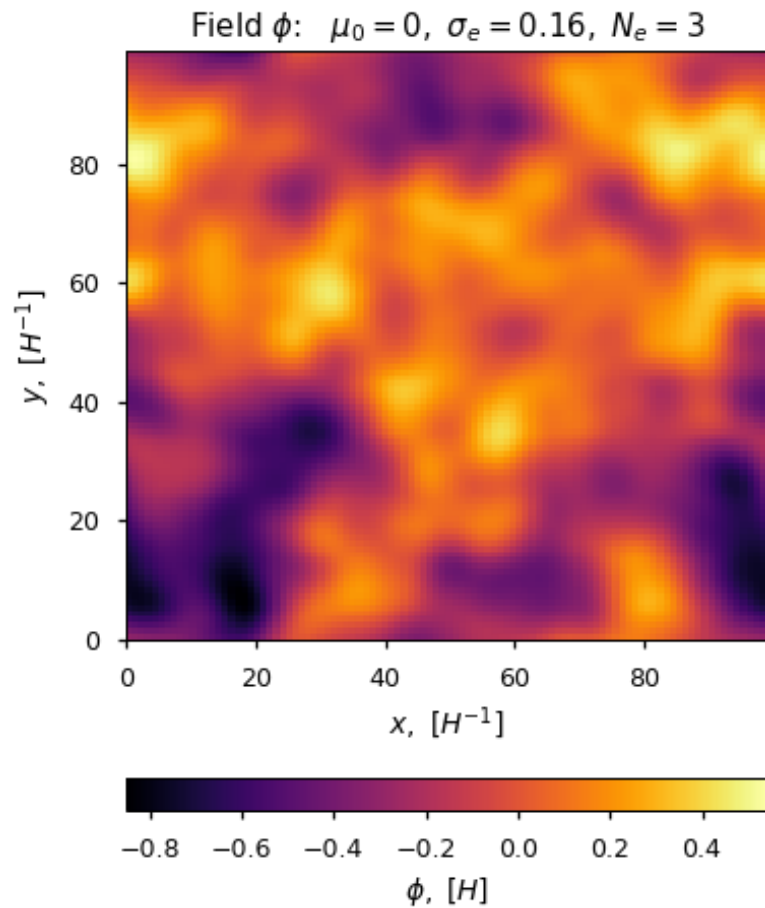
На рисунке показан эффект **переприсоединения**.
В данном случае два вакуумных пузыря
сталкиваются в результате своей эволюции
и в итоге сливаются в один
(граничные условия циклические).

Излучение частиц



На рисунке показан эффект излучения частиц.
Доменные стенки стремятся избавиться от кривизны
путем излучения частиц скалярного поля.

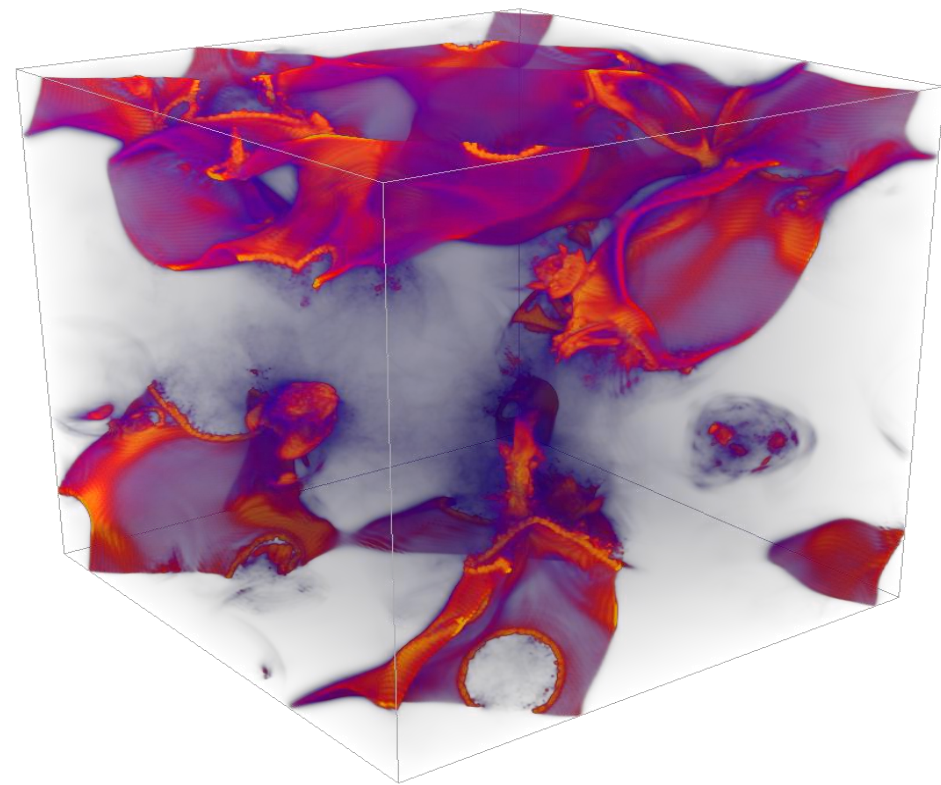
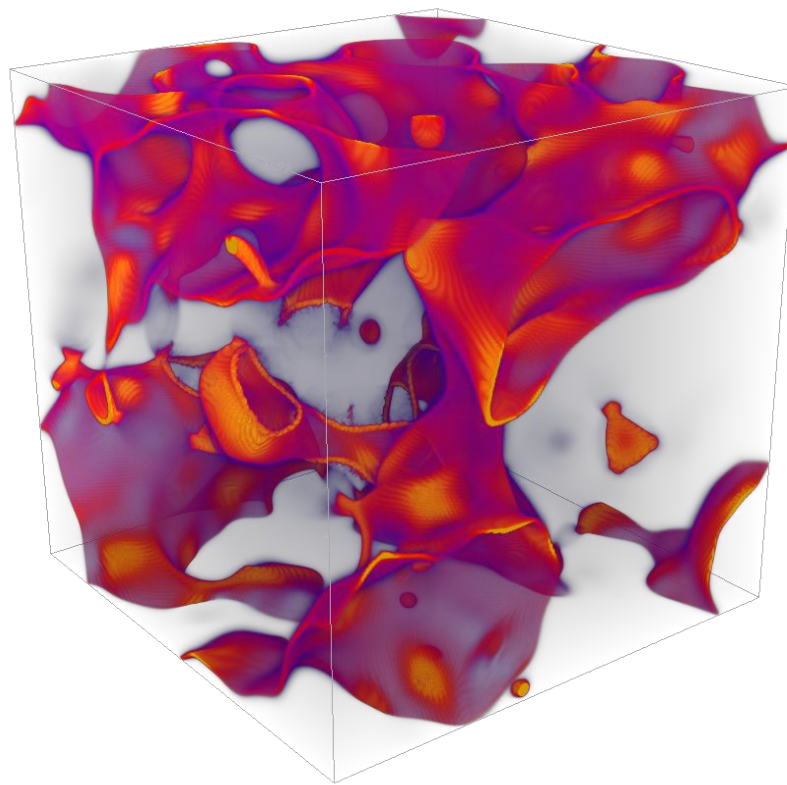
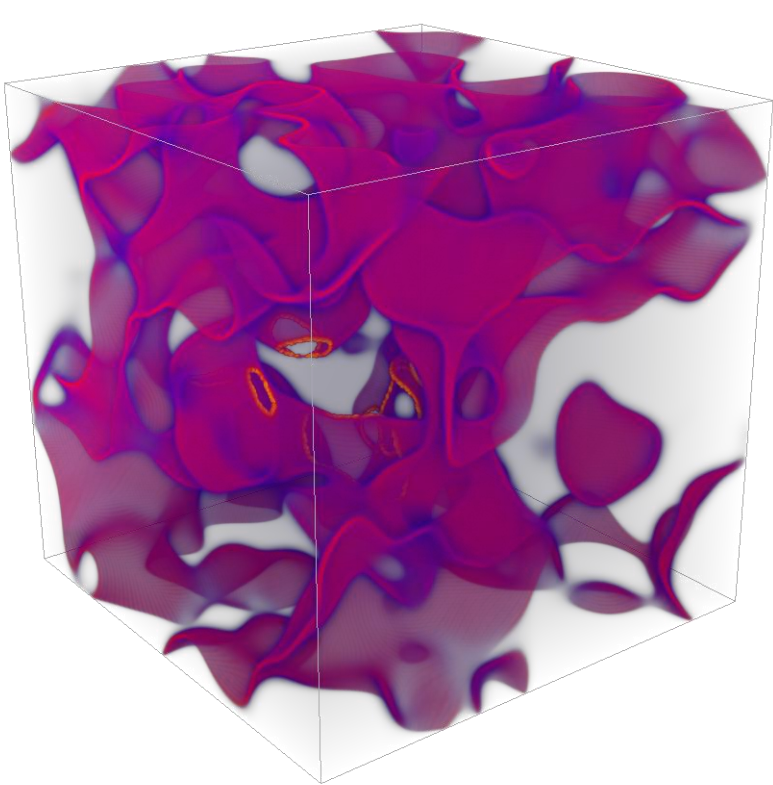
Инфляционные начальные условия



Распределение в физическом пространстве поля ϕ (слева) и поля χ (справа)

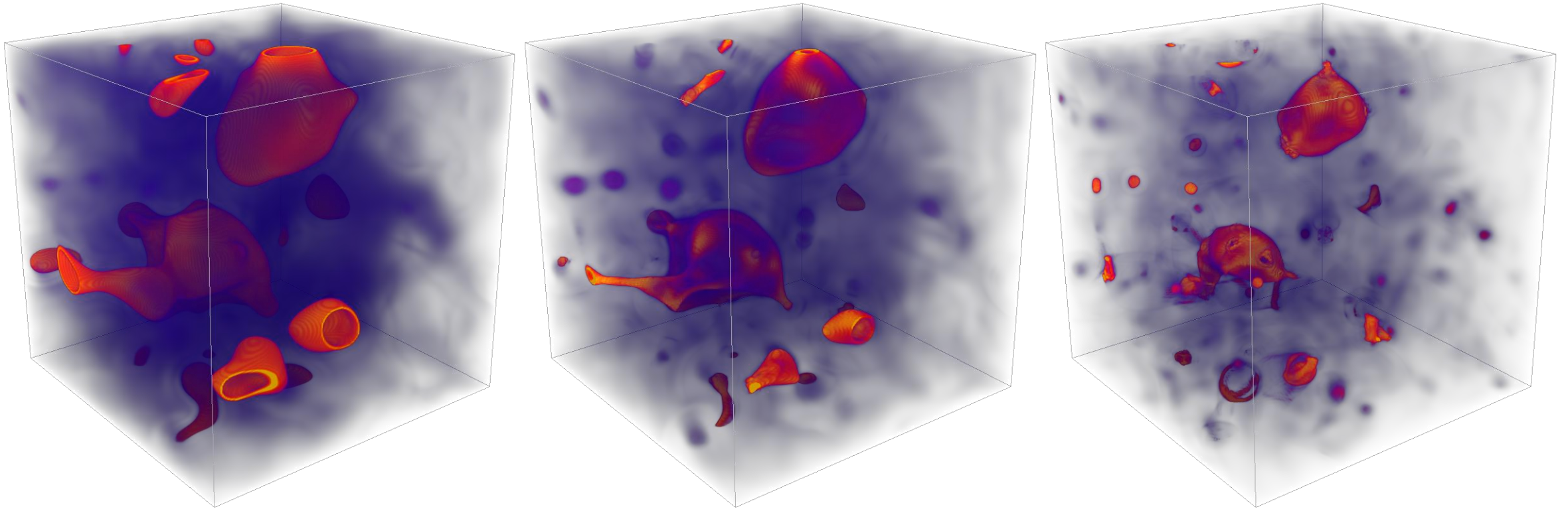
Солитонная пена

Трехмерное распределение плотности энергии
полевой конфигурации в пространстве.



Солитонная пена

Трехмерное распределение плотности энергии
полевой конфигурации в пространстве для случая
где в основном получаются вакуумные пузыри.



Заключение

- Рассмотрена полевая модель с механизмом образования солитонов основанном на динамической эволюции скалярных полей.
- Механизм образования солитонов в модели не требует фазовых переходов, и поэтому может быть достаточно редким во Вселенной, чтобы не противоречить наблюдательным данным.
- Солитоны в модели с начальными условиями полученными на стадии инфляции образуются сразу в кластерах вместе с гало из частиц скалярного поля, что можно интерпретировать как двухкомпонентную скрытую массу (в случае если коллапс солитонов приводит к образованию ПЧД).