

# Солитоны в ранней Вселенной

Б.С. Мурыгин  
НИЯУ МИФИ

## Введение

- Первая классификация и обсуждение эволюции топологических дефектов (солитонов) во Вселенной была дана в статье

(Киббл, 1976).

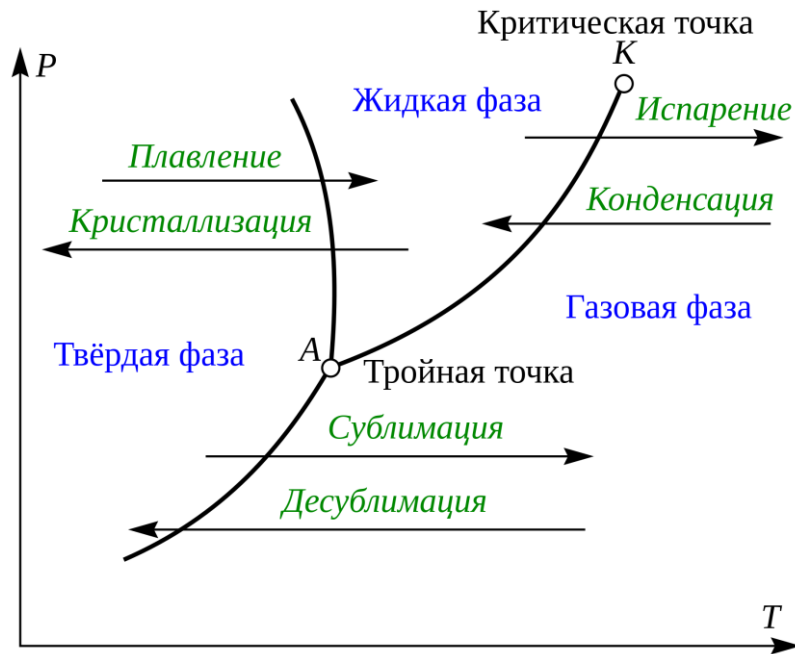
- После этого было опубликовано множество работ, где рассматривались различные типы солитонов (струны, доменные стенки, монополи и тд), их свойства и возможное космологическое значение.

## Введение

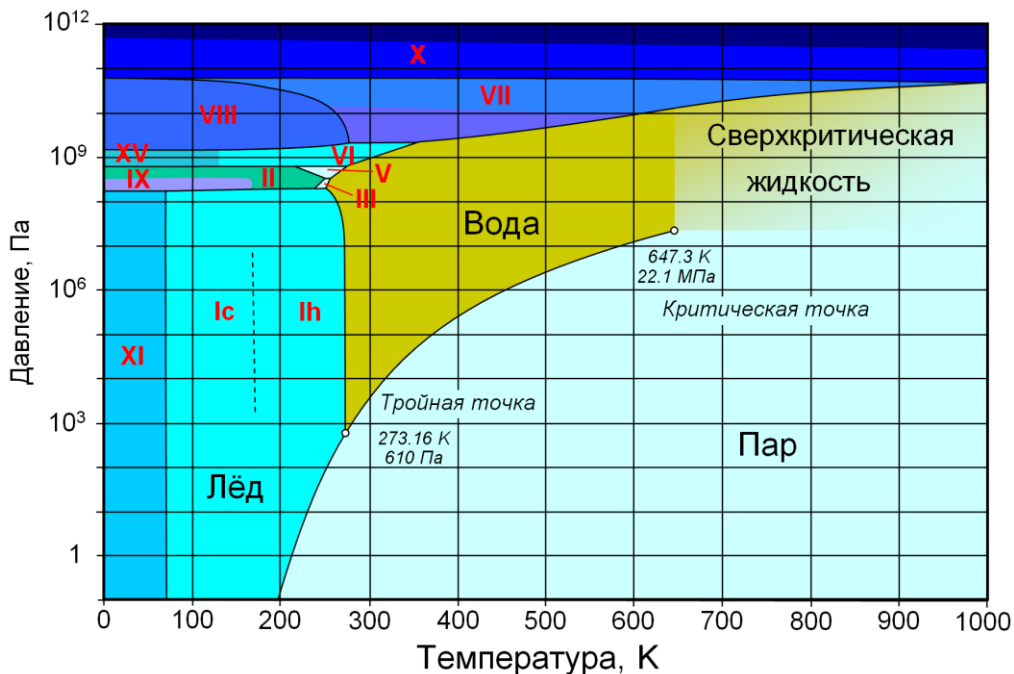
- Солитоны использовались как возможные решения различных проблем космологии: природа темной энергии и темной материи, генерация первичных неоднородностей.
- После 2000-х интерес к солитонам существенно снизился, что связано с рядом неудач этого класса моделей.

# Фазовые переходы

Фазовый переход - переход вещества из одной термодинамической фазы в другую при изменении внешних условий. Всегда можно найти величину, которая скачкообразно меняется при фазовом переходе.



# Типы фазовых переходов

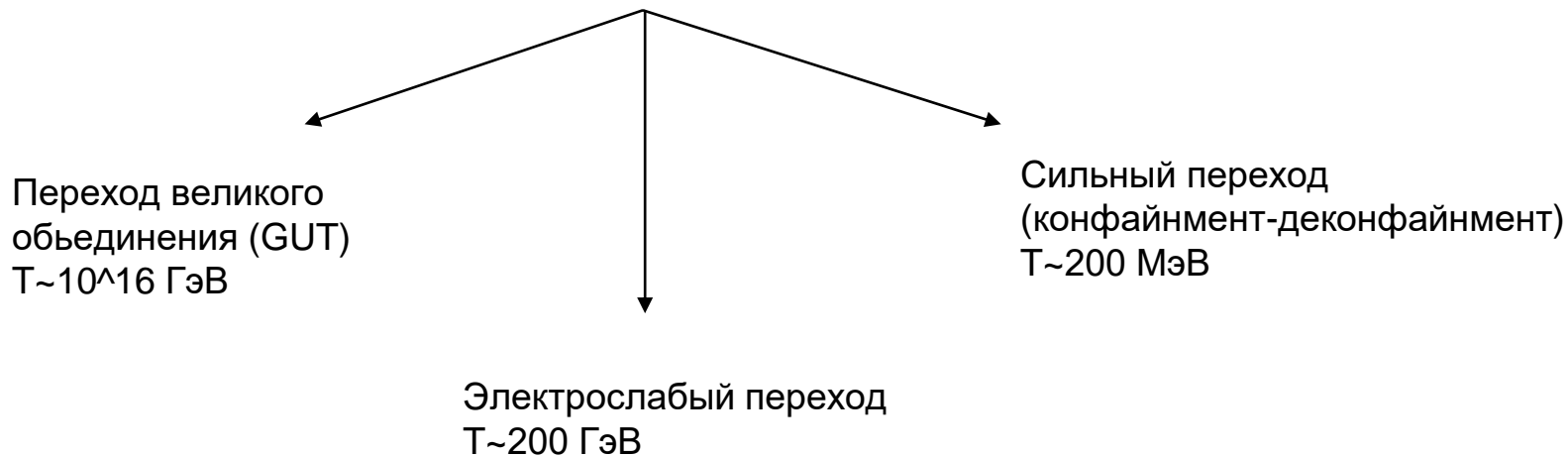


На фазовых диаграммах переходы первого рода выглядят как переход через кривую на графике, а второго рода как переход через крайние точки на этих кривых.

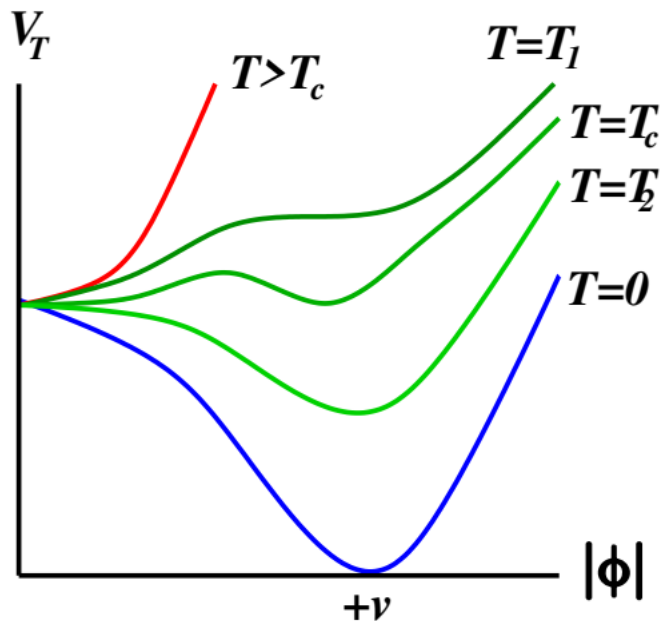
Кроме фазовых переходов возможен также плавный кроссовер между фазами. Во время кроссовера фазы между собой неразличимы, а параметры системы плавно изменяются от одной фазы к другой.

# Фазовые переходы в ранней Вселенной

В ранней Вселенной, как в веществе позволяющем термодинамическое описание, возможно происходили фазовые переходы в веществе такие как:



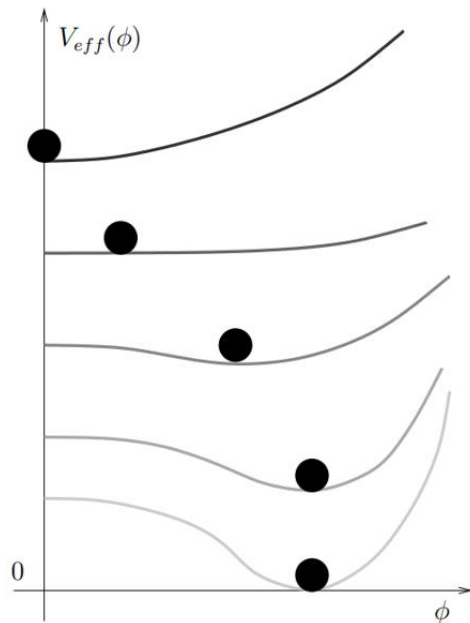
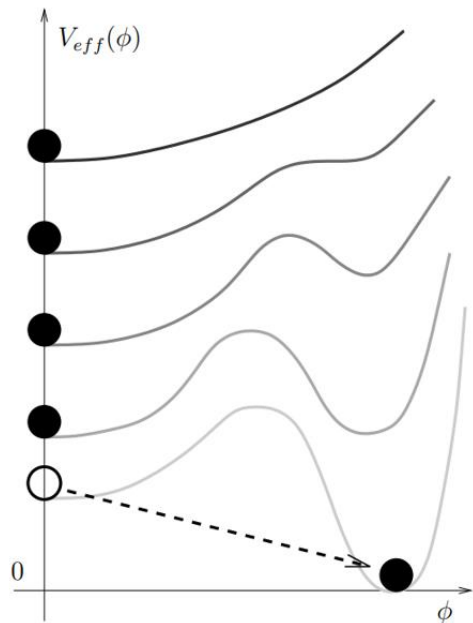
# Фазовые переходы и солитоны



Основным механизмом возможной генерации солитонов считается их образование из фазовых переходов.

В терминах эффективного потенциала, фазовые переходы могут быть описаны как изменение вакуумного состояния поля с изменением температуры.

# Фазовые переходы и солитоны



В зависимости от типа фазового перехода солитоны могут образовываться или нет.

На картинке слева (фазовый переход первого рода) возможно образование доменных стенок.

Для более сложных солитонных конфигураций необходима более сложная топология вакуума полевой модели (например для образования струн необходима непрерывная вырожденность вакуумного состояния).



# Проблемы солитонов из фазовых переходов

- Вследствие того, что ранняя Вселенная находилась в термодинамическом равновесии, фазовые переходы должны были происходить во всей Вселенной сразу.
- Показано, что такая ситуация приводит к противоречиям с наблюдательными данными, таким как: слишком большие первичные неоднородности, неправильная анизотропия СМВ и тд.

# Проблемы солитонов из фазовых переходов

- Кроме того, зачастую, такой механизм образования солитонов подразумевает существование топологически стабильных солитонов (из-за бесконечной энергии необходимой для их разрушения), что, во-первых, не наблюдается сейчас, а, во-вторых, приводит к достаточно быстрому доминированию солитонов во Вселенной и, учитывая их уравнение состояния, к ускоряющемуся расширению Вселенной.
- Эти проблемы привели к постепенному снижению интереса к солитонным решениям.

# Солитоны сегодня

- Несмотря на проблемы солитонных решений, они принципиально не запрещены, так как являются следствием динамики полей.
- Противоречие с наблюдательными данными не является проблемой всех солитонных решений, например, к доминированию солитонов во Вселенной приводят только доменные стенки и составные солитоны с ними, тогда как струны не обладают такой проблемой.
- Кроме того, основные проблемы солитонных решений следуют из механизма их генерации, в случае изменения этого механизма большинство проблем исчезнет.

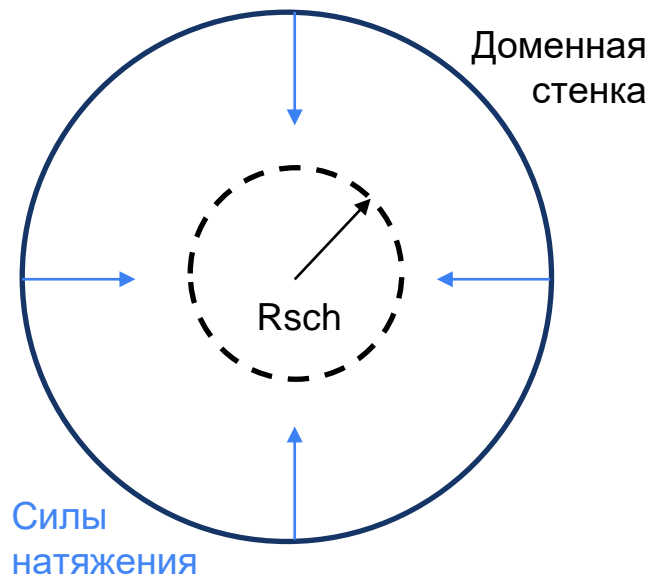
# Солитоны сегодня

Вследствие множества ограничений на солитоны механизм генерации солитонов должен соответствовать нескольким критериям:

- Формирование солитонов должно ограничиваться ранней Вселенной, то есть большими температурами и плотностями.
- Солитоны должны достаточно быстро распадаться, так как сегодня мы их не наблюдаем.
- Солитоны не должны рождаться в больших количествах, иначе влияние на спектр первичных неоднородностей окажется слишком большим.

# ПЧД из доменных стенок

Солитоны могут приводить к образованию ПЧД, как было показано в работе (Рубин, Хлопов, Сахаров, 2000).



# Заключение

- Солитоны привлекались для решения множества космологических проблем.
- В результате изучения солитонных решений было обнаружено, что они приводят к многочисленным противоречиям с наблюдательными данными.
- Однако, при ближайшем рассмотрении, эти противоречия оказываются следствием механизма формирования солитонов.
- Таким образом, возможность появления солитонов не закрыта, также как и объяснение солитонами современных проблем космологии, например ПЧД или темной материи.