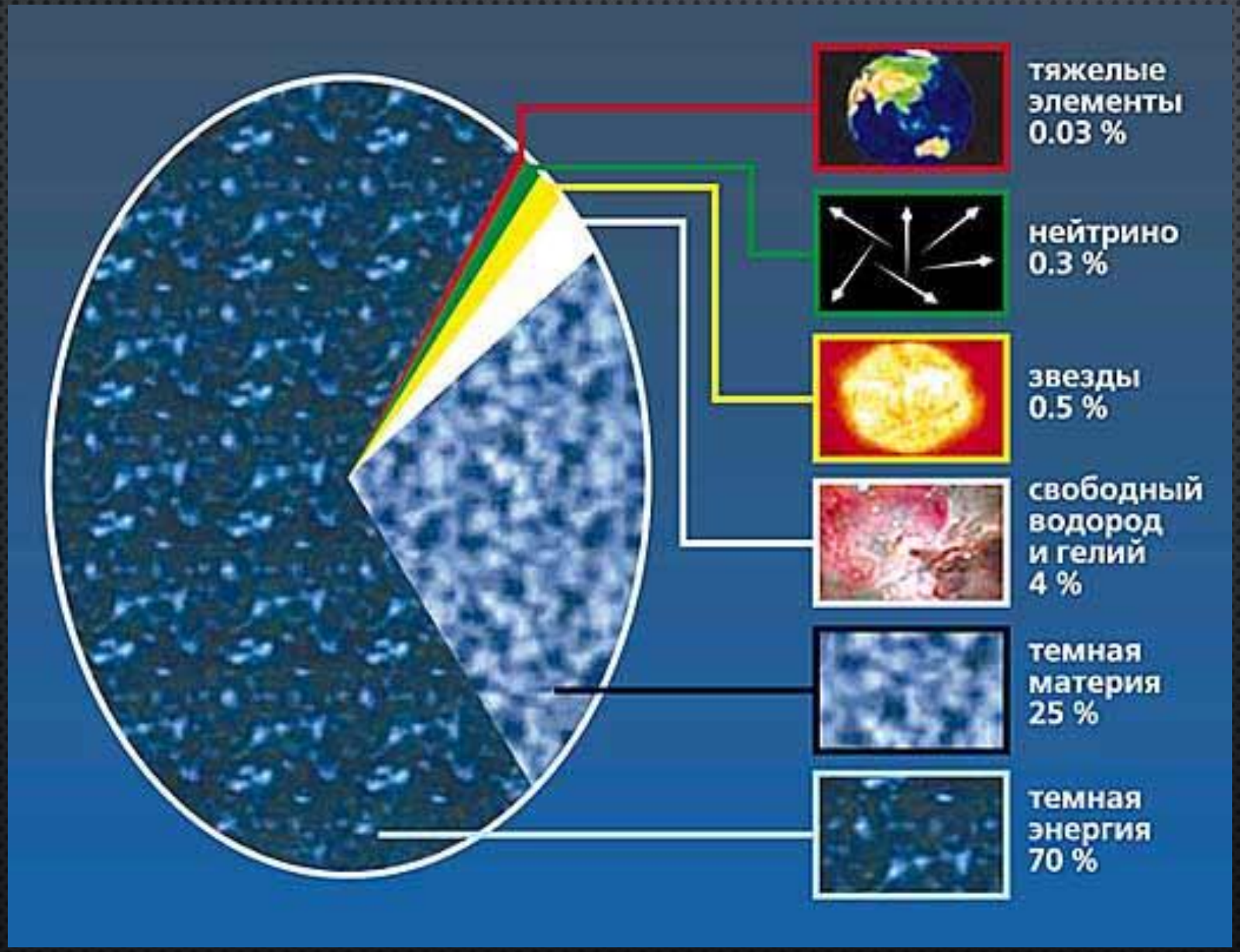
ТЕМНОЕ ВЕЩЕСТВО

Сергей Попов

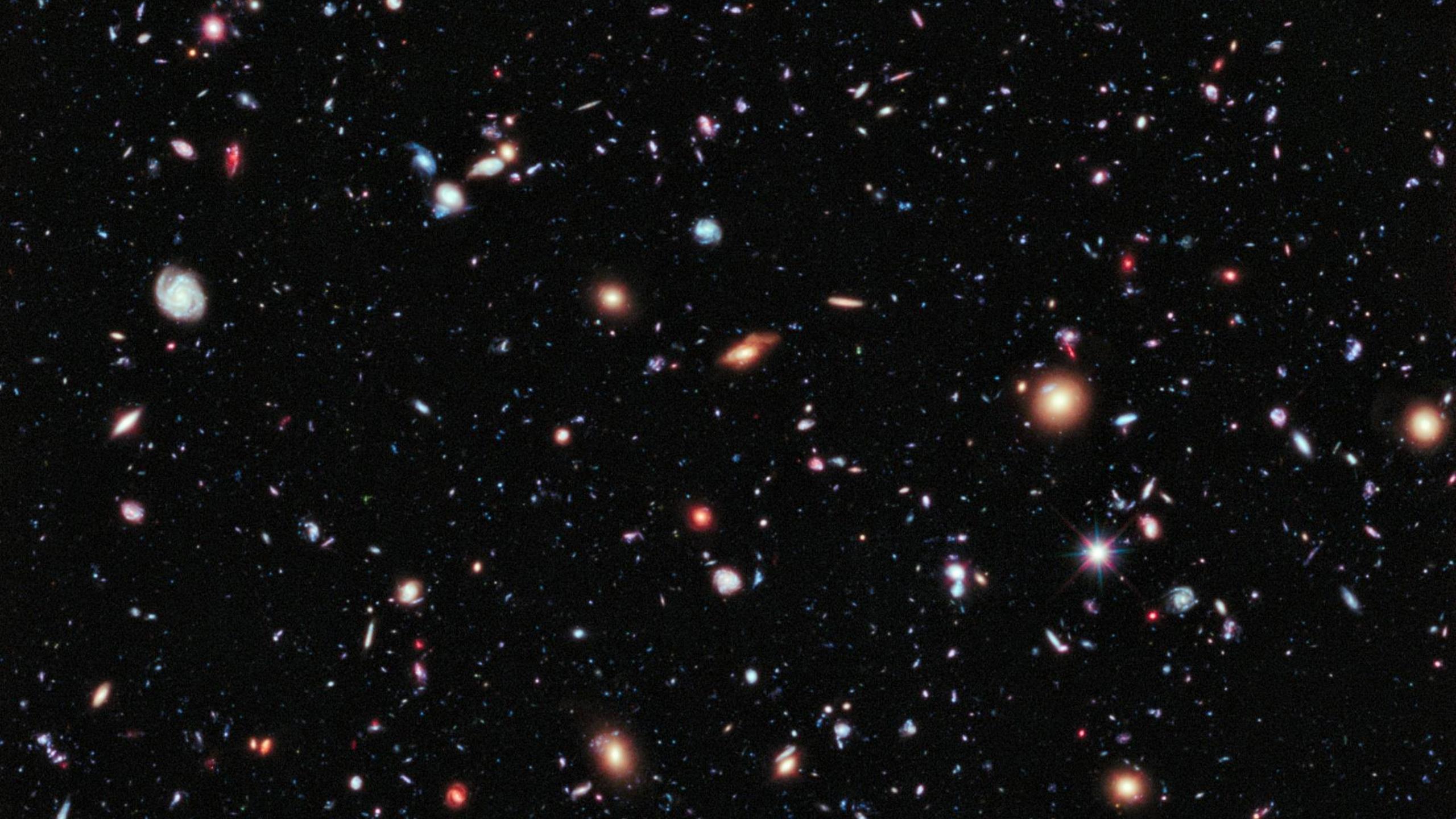
СОСТАВ ВСЕЛЕННОЙ



Большую часть материи, заполняющей вселенную, мы можем наблюдать лишь косвенными методами.

Неизвестные частицы
Нейтралино? Аксионы?

Неизвестные поля или вакуум



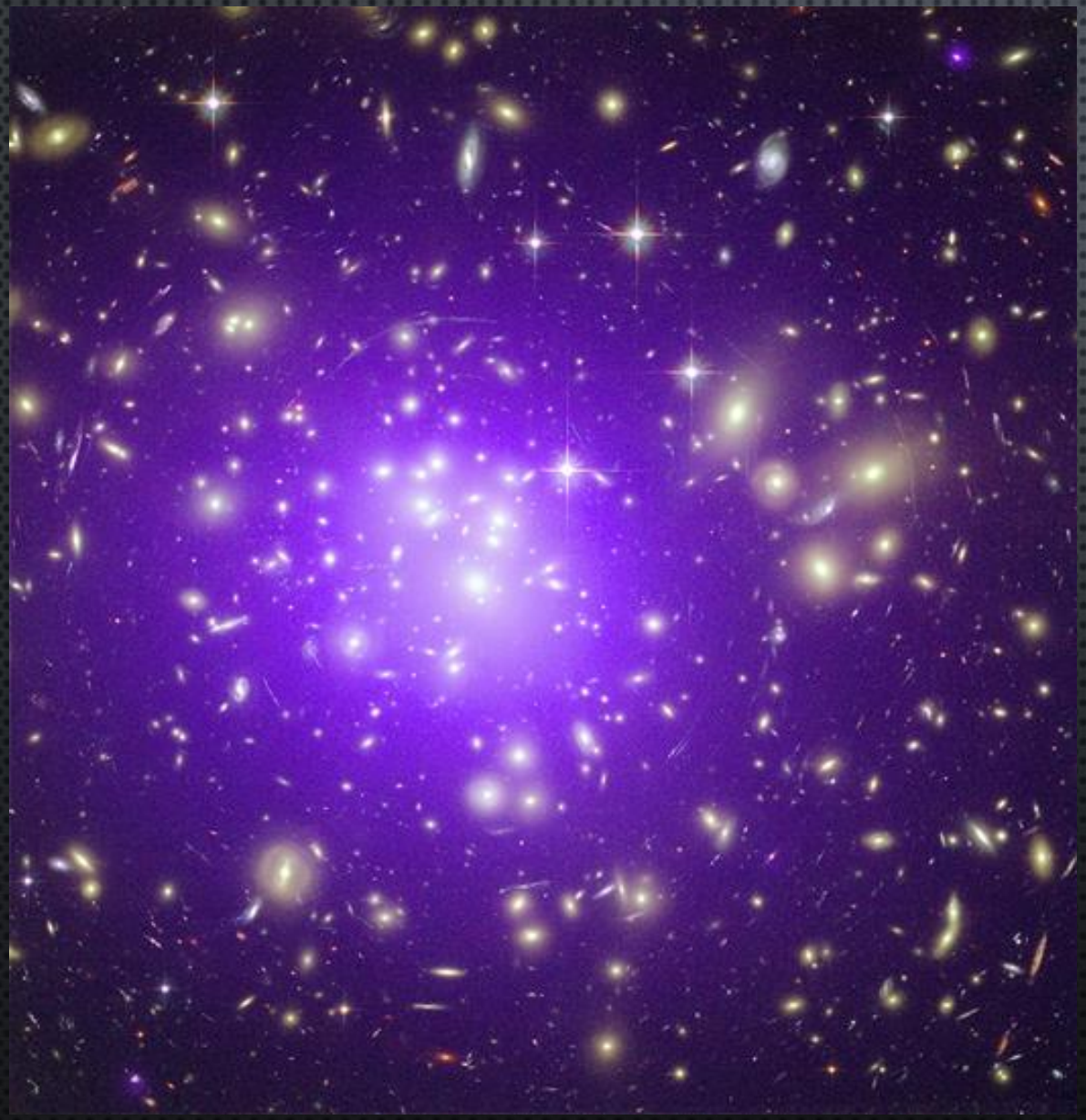
HUBBLE ULTRA DEEP FIELD

Созвездие Печь
Наблюдения 2003-2004

ФОРМИРОВАНИЕ ГАЛАКТИК

Мы видим, что далекие галактики только формируются.
Они не похожи на симметричные галактики вокруг нас.

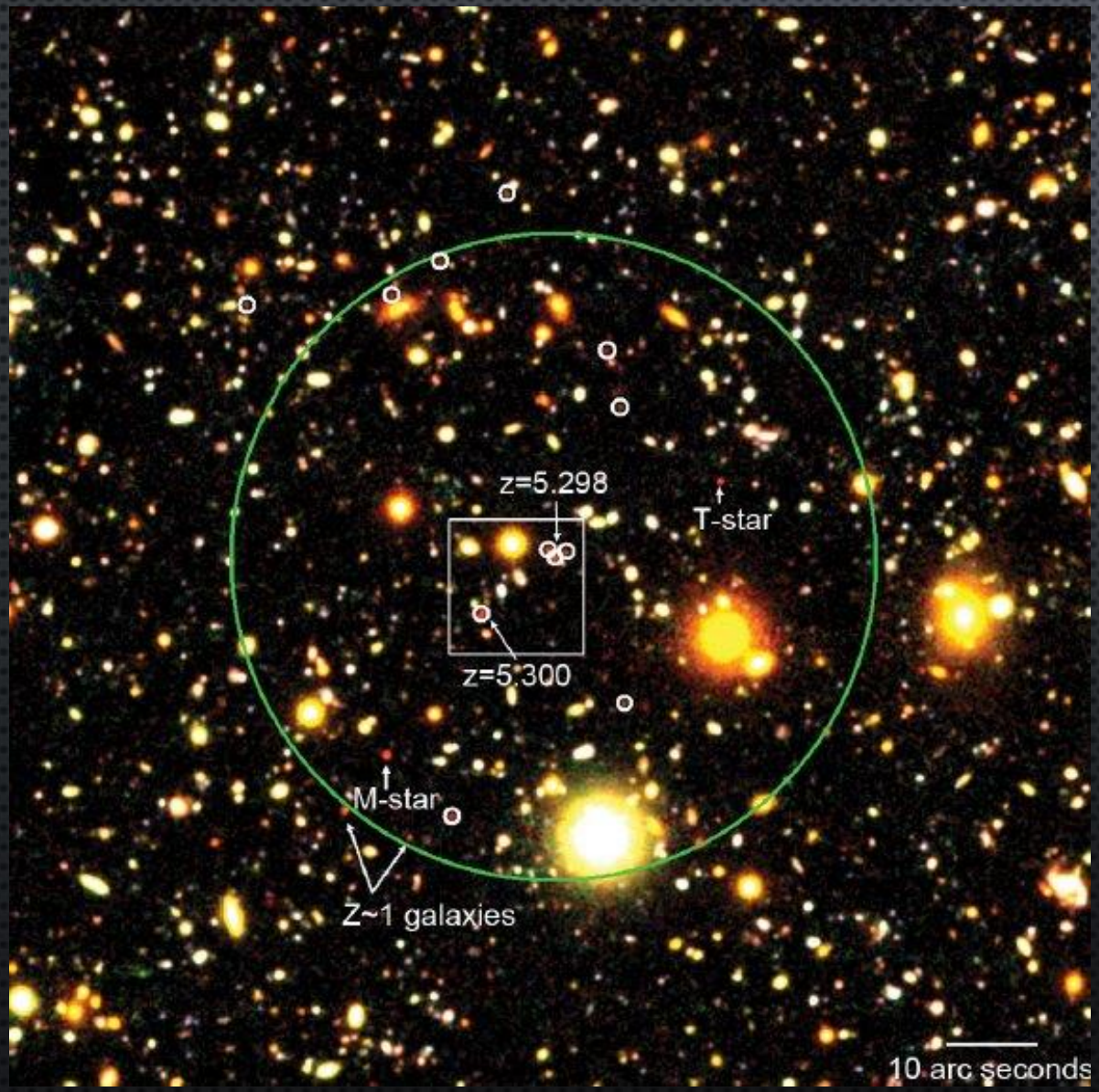
ФОРМИРОВАНИЕ СКОПЛЕНИЙ

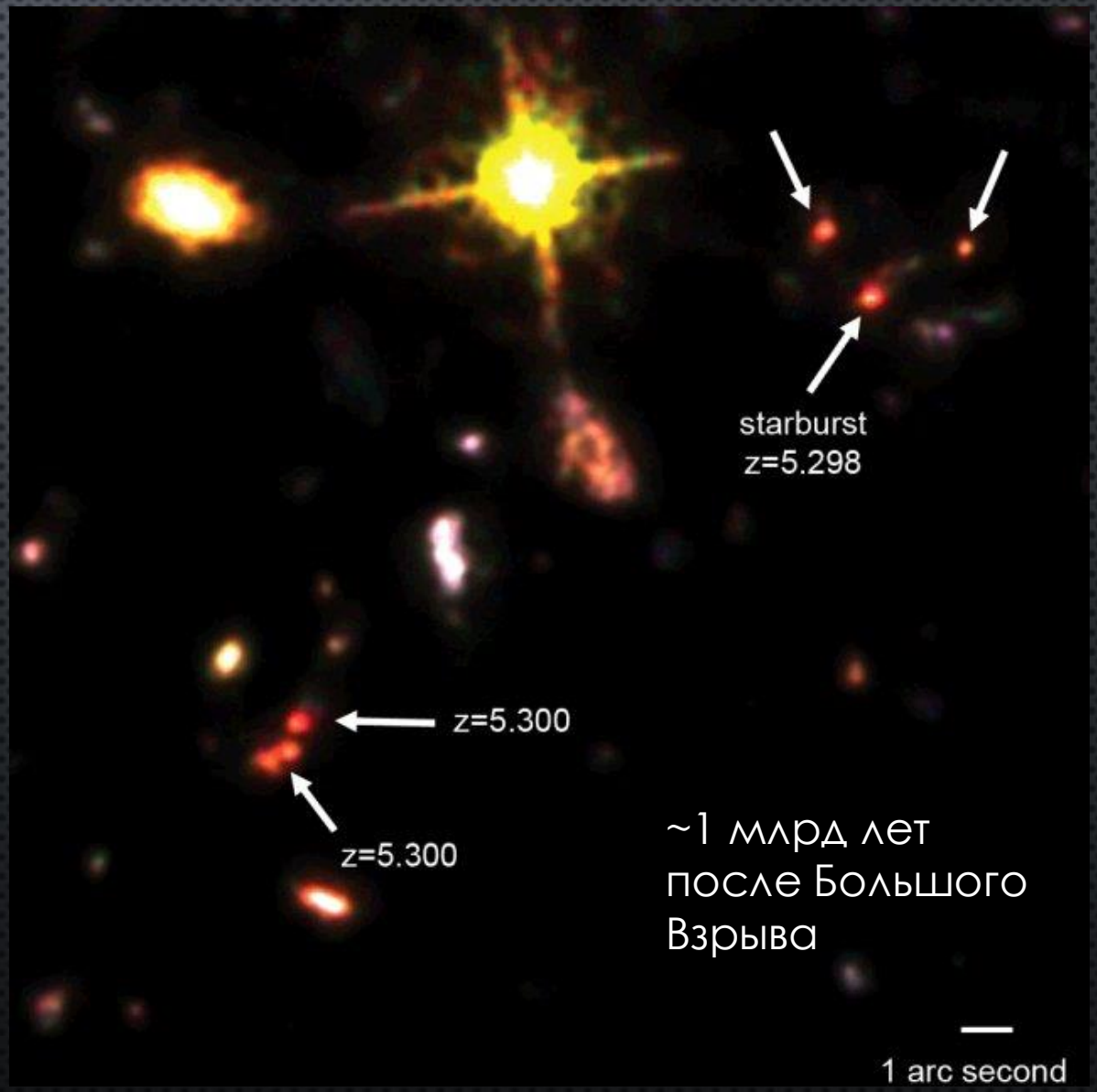


Мы видим, что скопления возникают постепенно.

На больших расстояниях скопления еще не успели сформироваться.

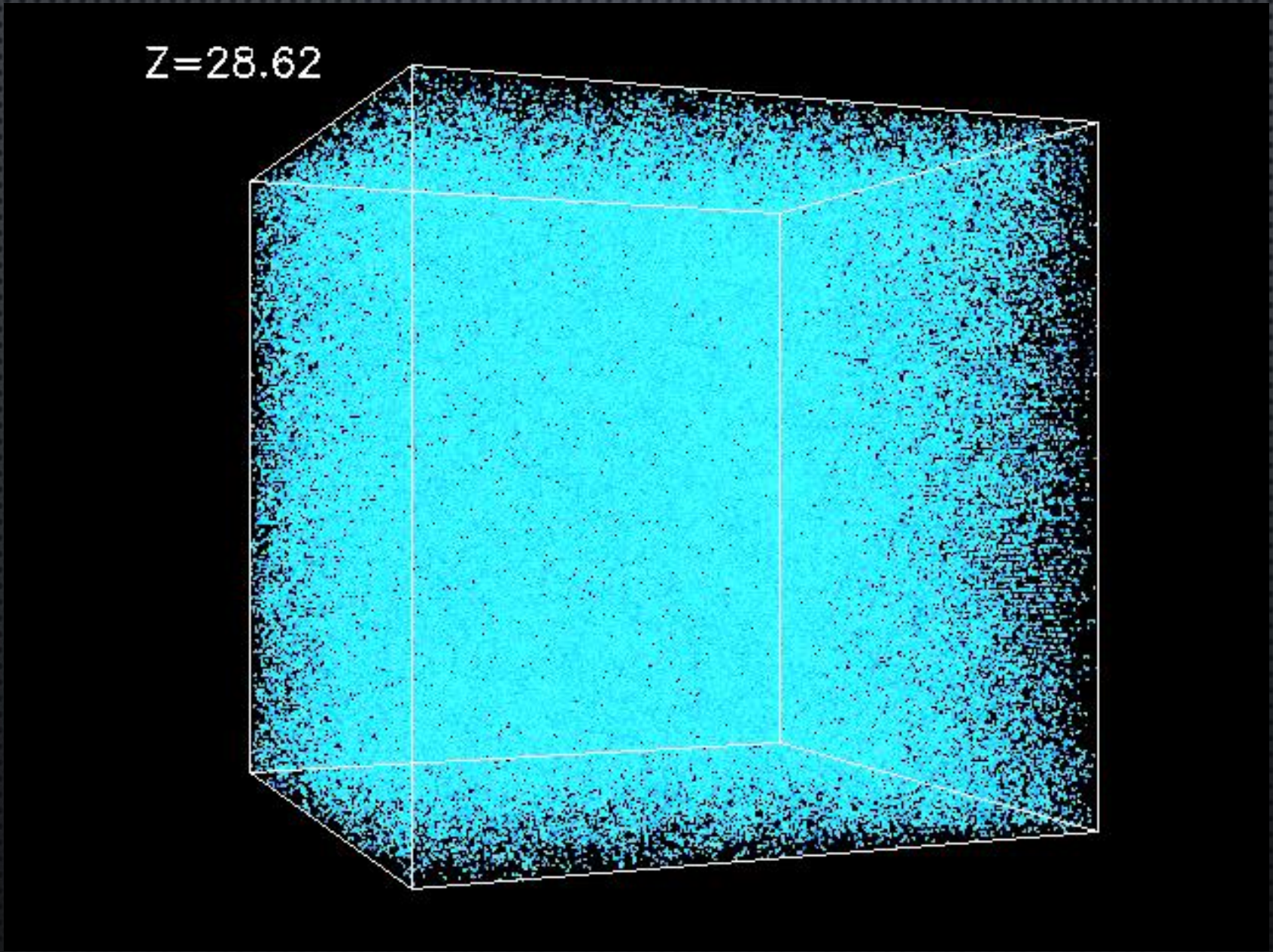
ДАЛЕКОЕ ПРОТОСКОПЛЕНИЕ ГАЛАКТИК





1101.3586

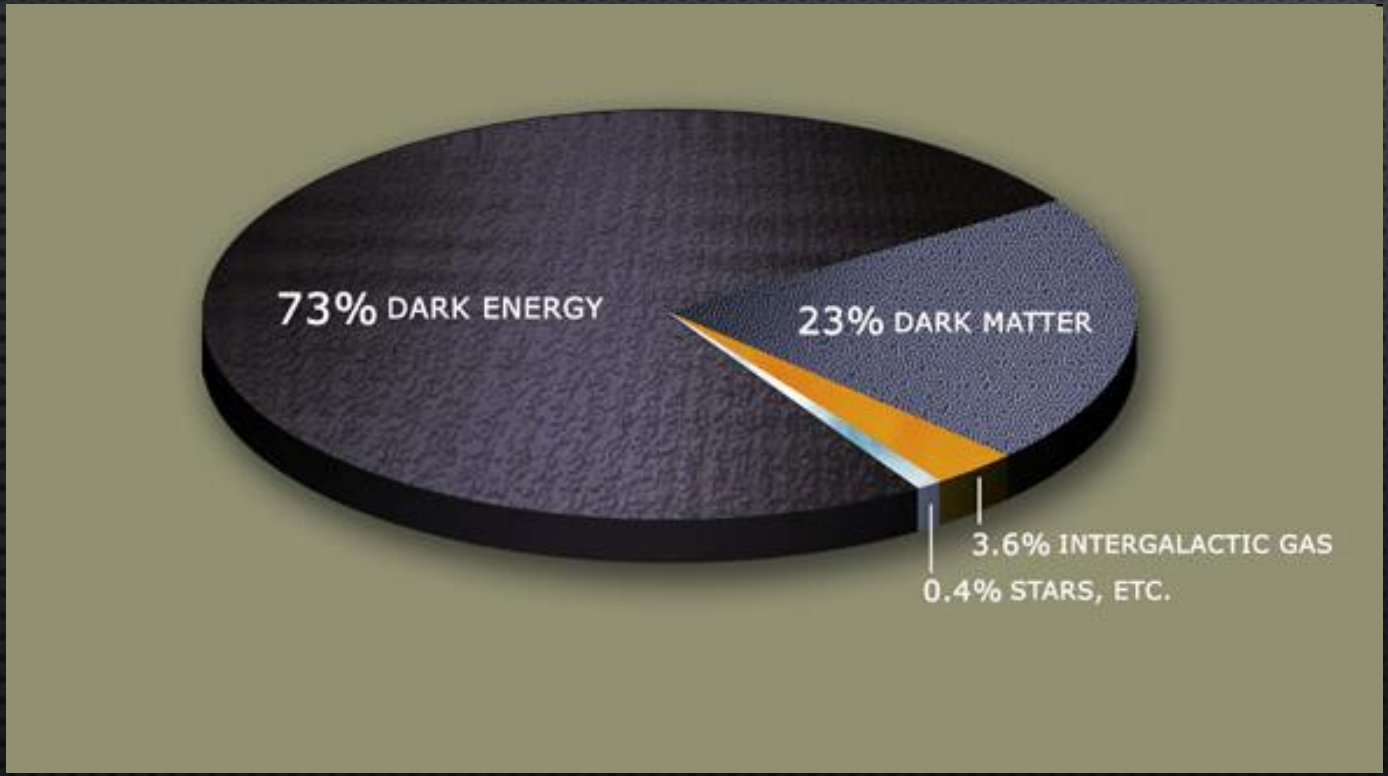
ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ



А. Кравцов и др.

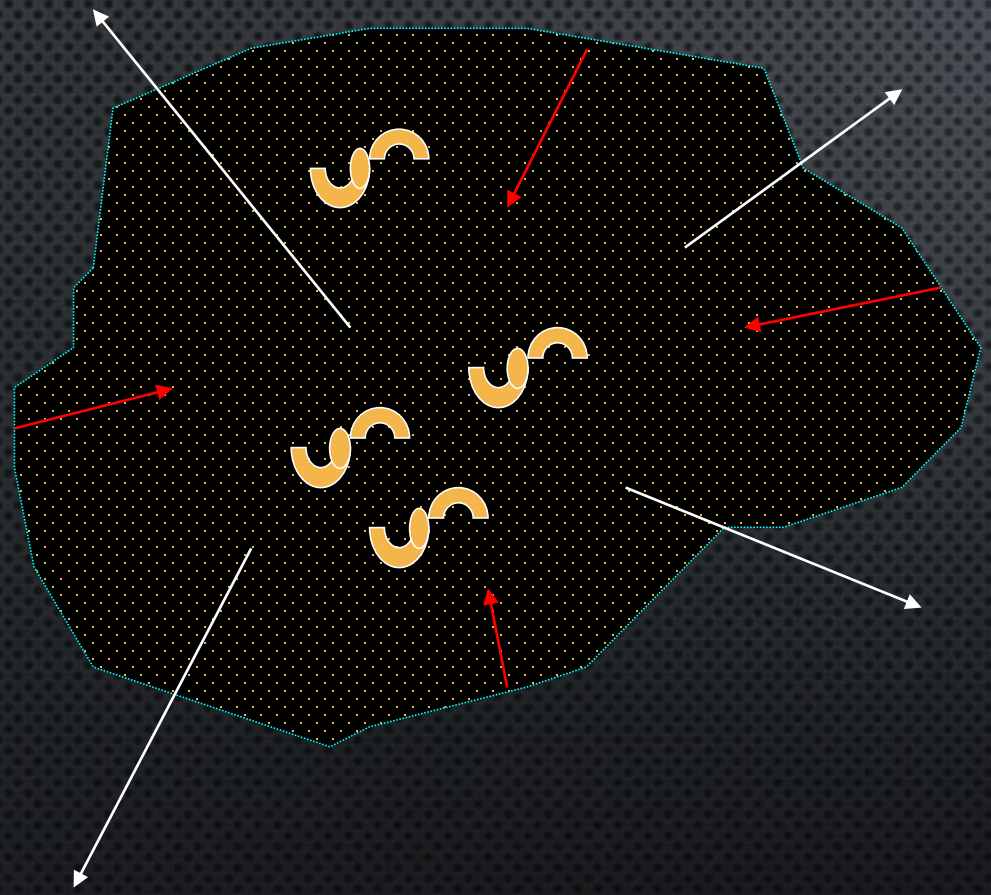
ТЕМНОЕ ВЕЩЕСТВО

Прекрасная иллюстрация стандартной гипотезы в астрофизике – темное вещество

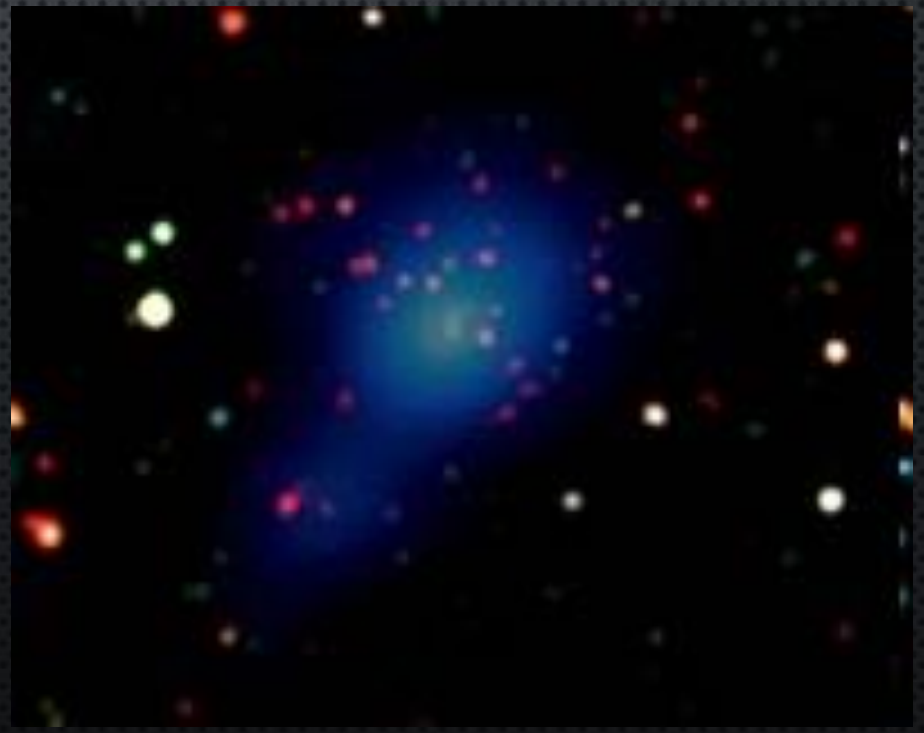


КОГДА И ЗАЧЕМ ЕГО ПРИДУМАЛИ?

Сама идея появилась в 30-гг. благодаря работам Фрица Цвикки.

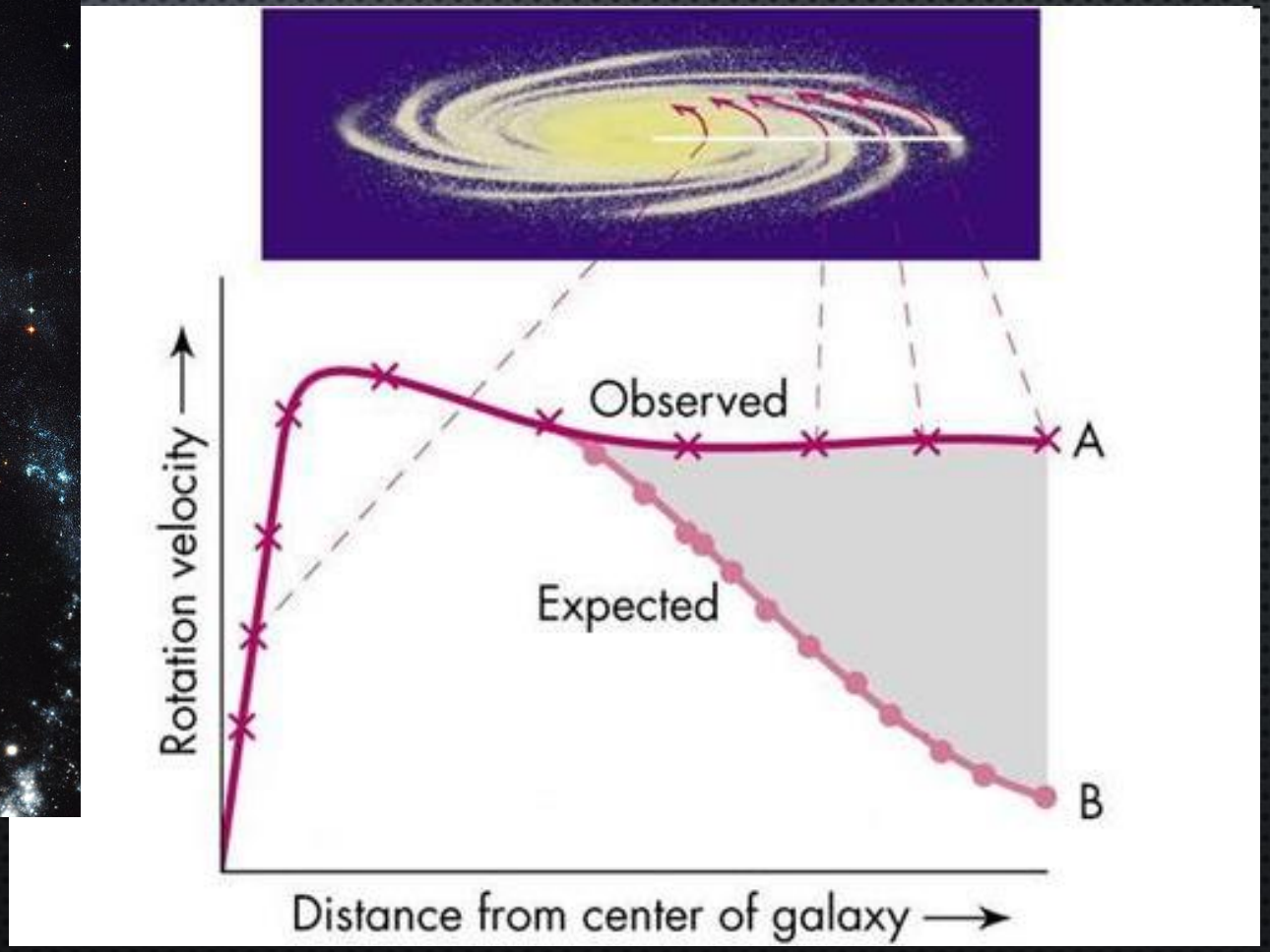


Подсчет массы видимого вещества в скоплениях галактик показывал, что его недостаточно для того, чтобы галактики и газ не разлетелись.



http://www.spacedaily.com

ВРАЩЕНИЕ ГАЛАКТИК

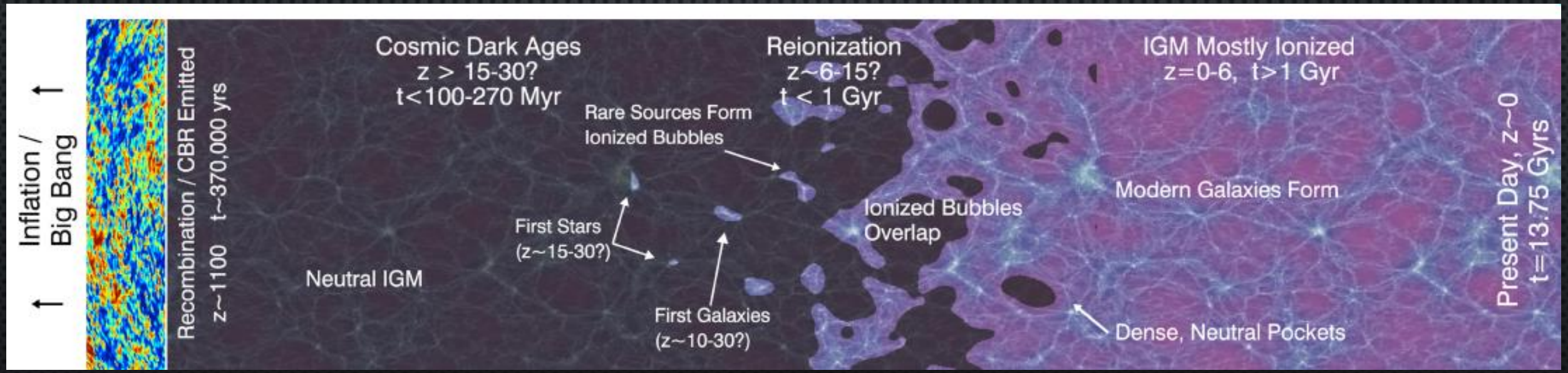


http://www.philica.com/uploads/images/145/Image/image006.jpg

ИСТОРИЯ ВСЕЛЕННОЙ

В начале вселенная была горячей. В течение сотен тысяч лет это были ионизованные водород и гелий.
Спустя примерно 370 000 лет после начала расширения вещество рекомбинировало – стало нейтральным.
Наступили «темные времена».

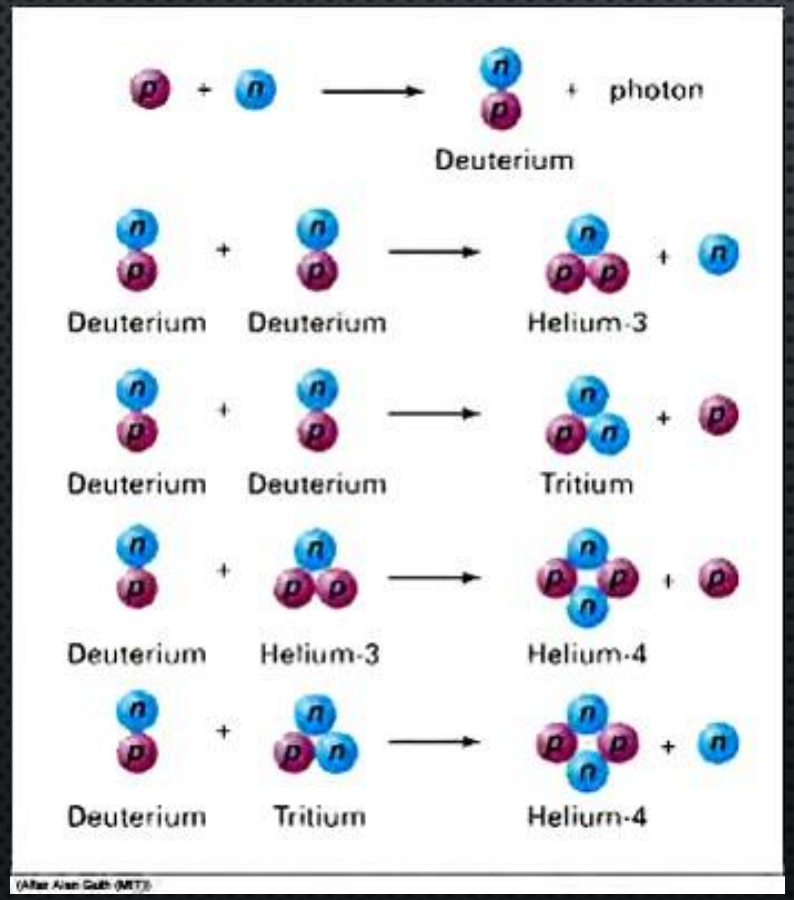
Постепенно начали появляться первые звезды и квазары. Возникали галактики.



РЕЛИКТОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

После работ Фридмана и открытия расширения вселенной стало ясно,
что в своей молодости вселенная имела большую плотность.
Но была ли она при этом горячей или холодной???

Правильная модель была построена на основе расчета синтеза гелия.



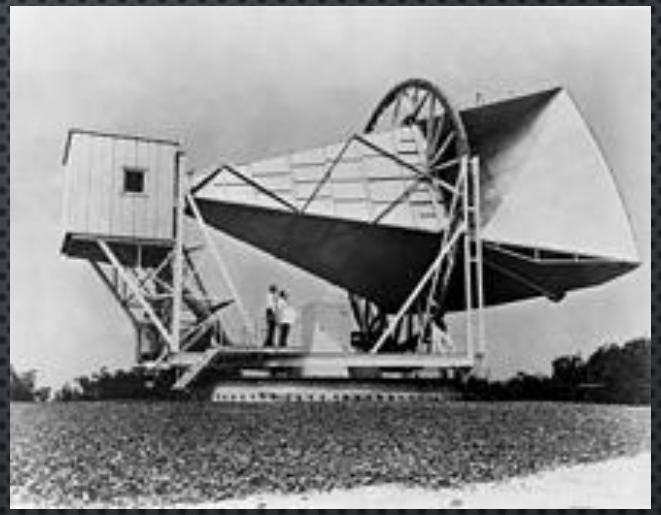
Чтобы успеть создать гелий в расширяющейся Вселенной, надо,
чтобы она была не только плотной, но и горячей.
От этой горячей эпохи до наших дней должно
было дожить излучение, изрядно остыв.

Ральф Альфер

Георгий Гамов

НЕОЖИДАННОЕ ОТКРЫТИЕ

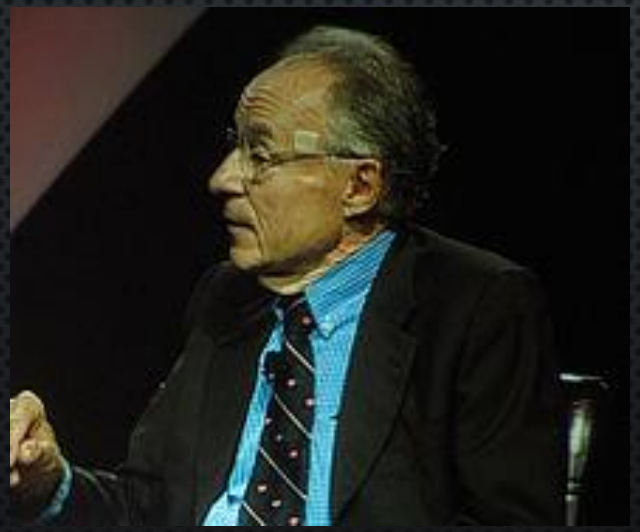
Хотя реликтовое излучение было предсказано, и его следы его присутствия даже были известны (но не распознаны), и были планы искать его целенаправленно, само открытие произошло достаточно случайно.



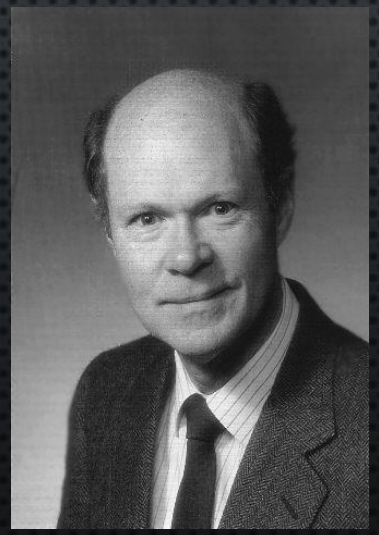
ПОМЕХИ! ШУМ В РАДИОЭФИРЕ!!!!

Но, после открытия, осознание того, что было найдено пришло очень быстро, потому что теоретики уже ждали.

За свое открытие Пензиас и Вилсон в 1978 г. получили Нобелевскую премию по физике.

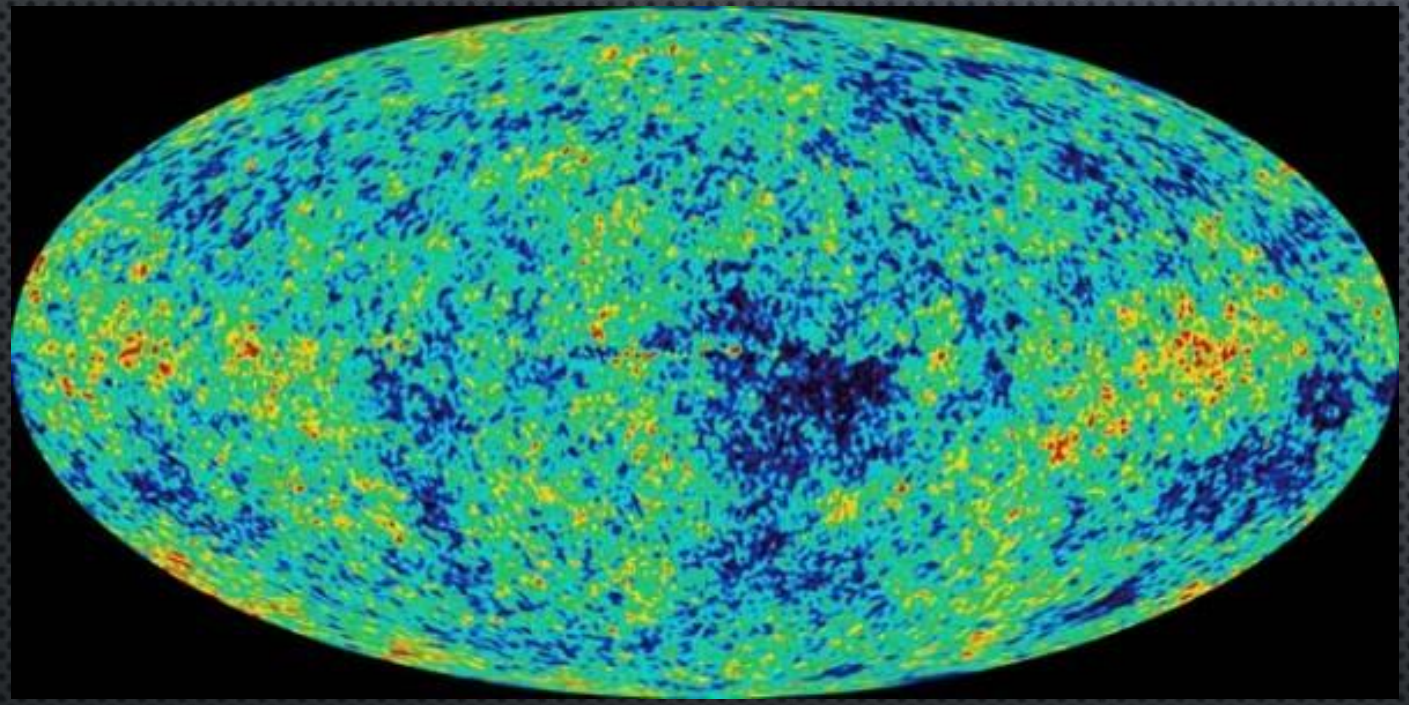


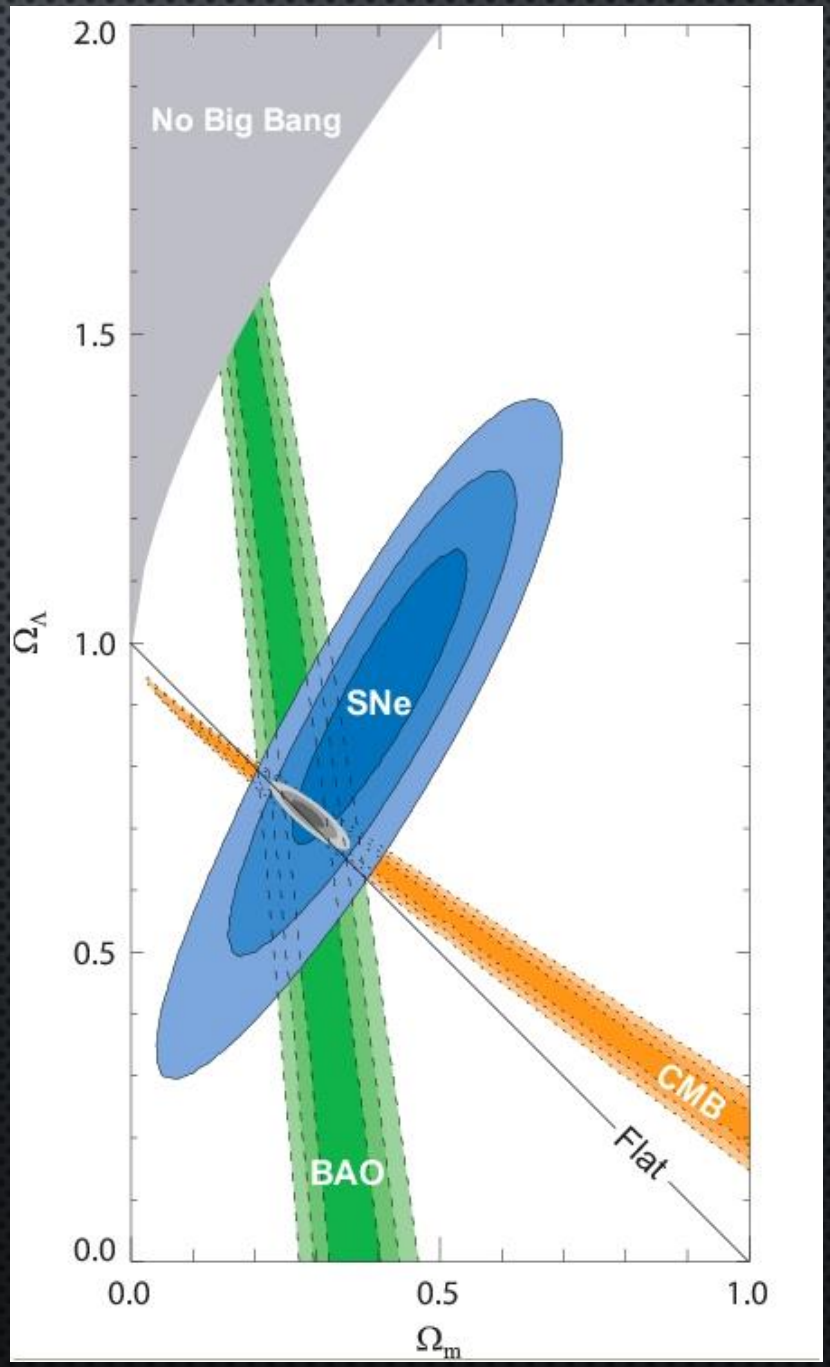
Арно Пензиас



Роберт Вилсон

ЧЕМ ВАЖНО?

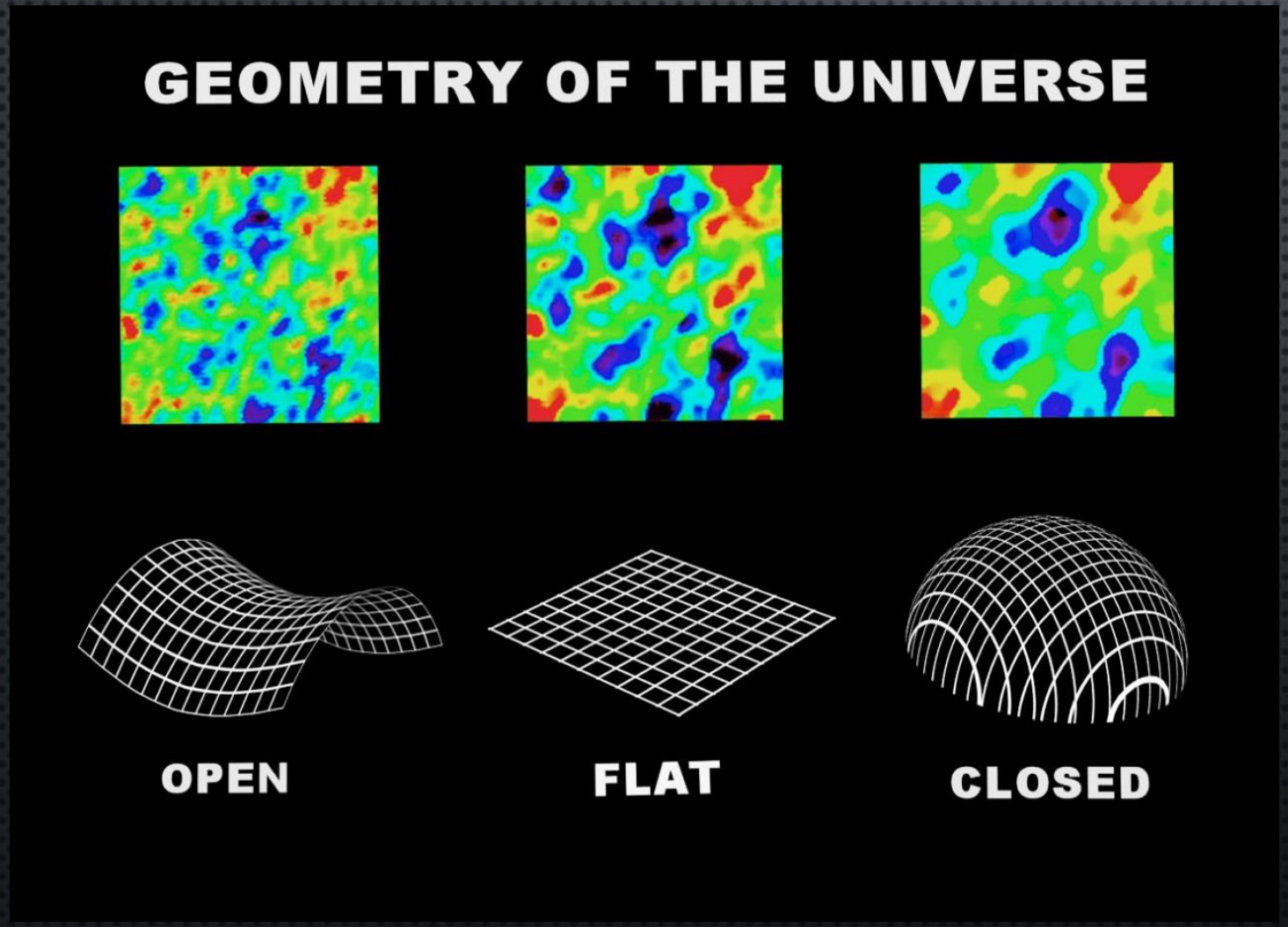




Кроме важного подтверждения модели горячей В., открытие реликтового излучения дало в руки ученым потрясающий инструмент для исследования мира.

В частности, данные по реликту позволяют определять геометрию вселенной, самодостаточно показывают ускорение расширения.

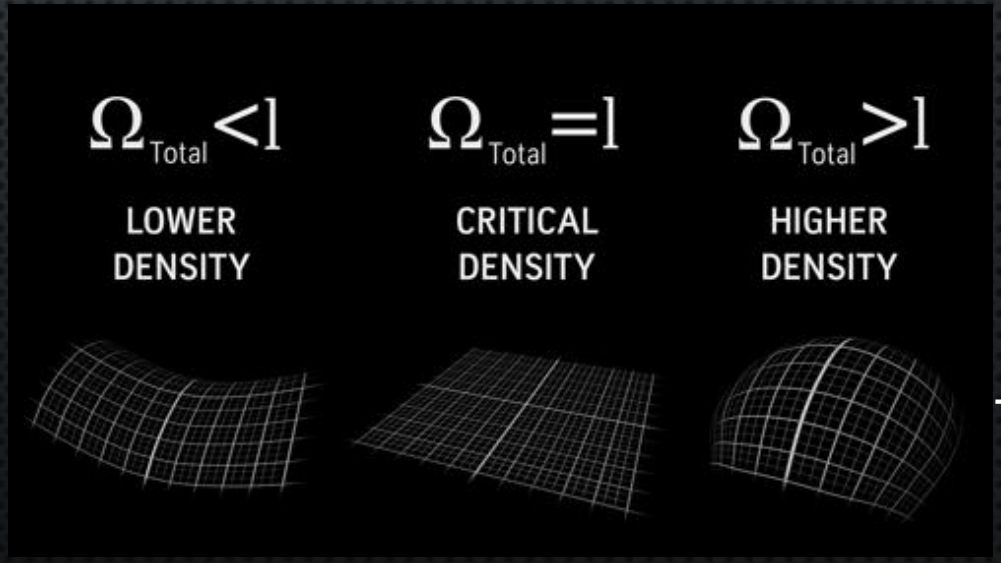
ПЛОТНОСТЬ ВСЕЛЕННОЙ



http://www.universetoday.com/120157/what-shape-is-the-universe/

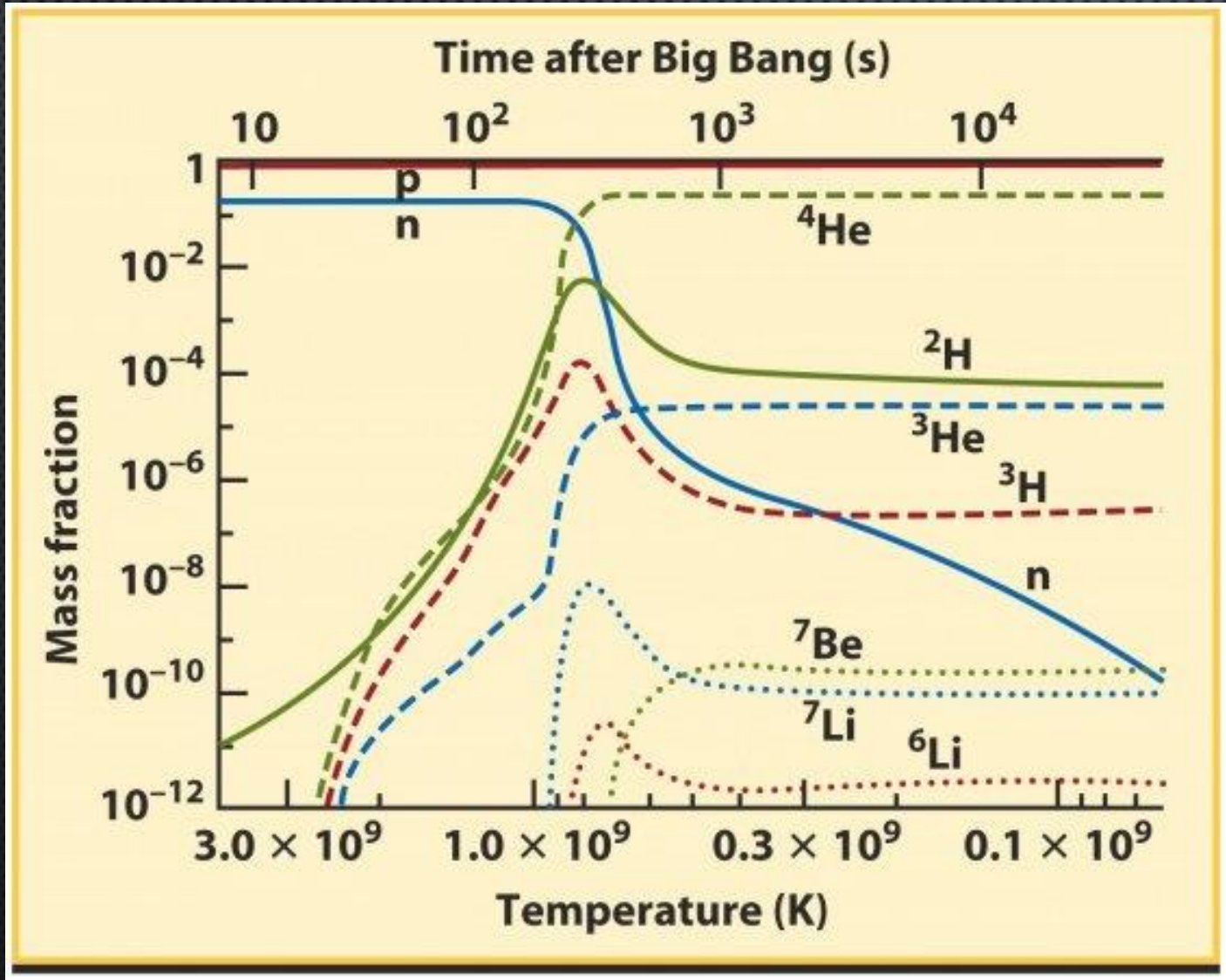
Наблюдения позволяют определить среднюю плотность вселенной.

Данные по первичному синтезу элементов позволяют отдельно определить плотность барионного вещества.

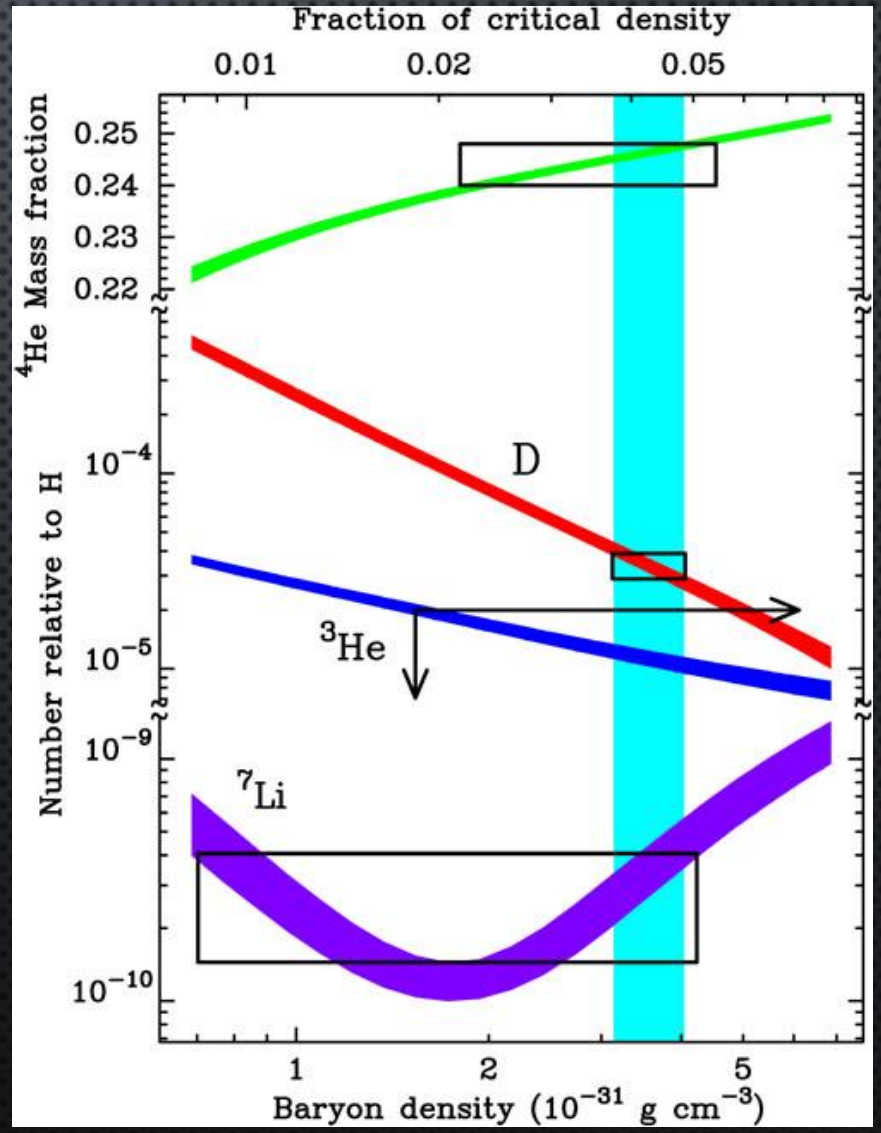


www.learner.org

ПЕРВИЧНЫЙ НУКЛЕОСИНТЕЗ

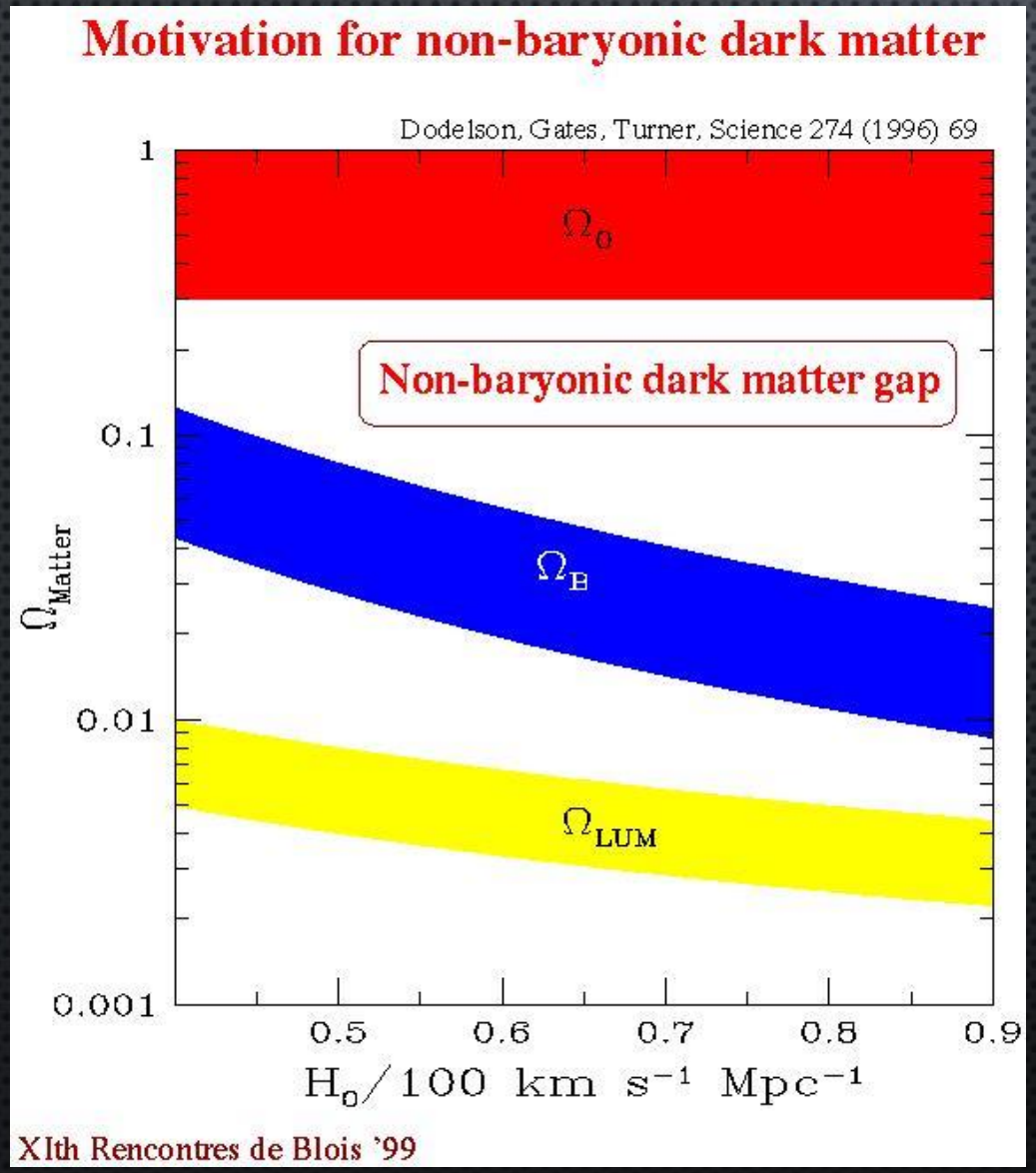


https://universe-review.ca/F02-cosmicbg01.htm



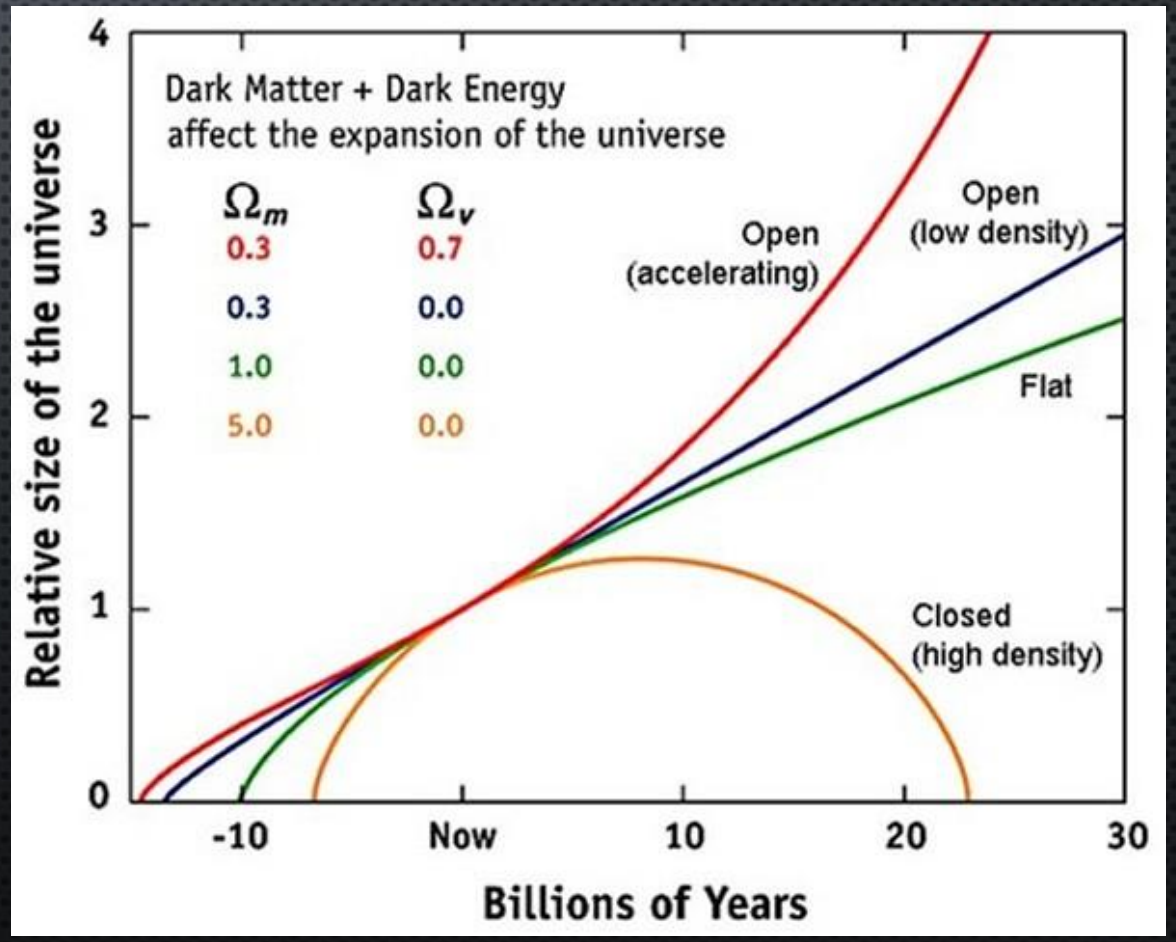
https://ned.ipac.caltech.edu/level5/Sept03/Trodden/Trodden4_5.html

НУКЛЕОСИНТЕЗ + РЕЛИКТ = ПРОБЛЕМА ДЛЯ БАРИОНОВ



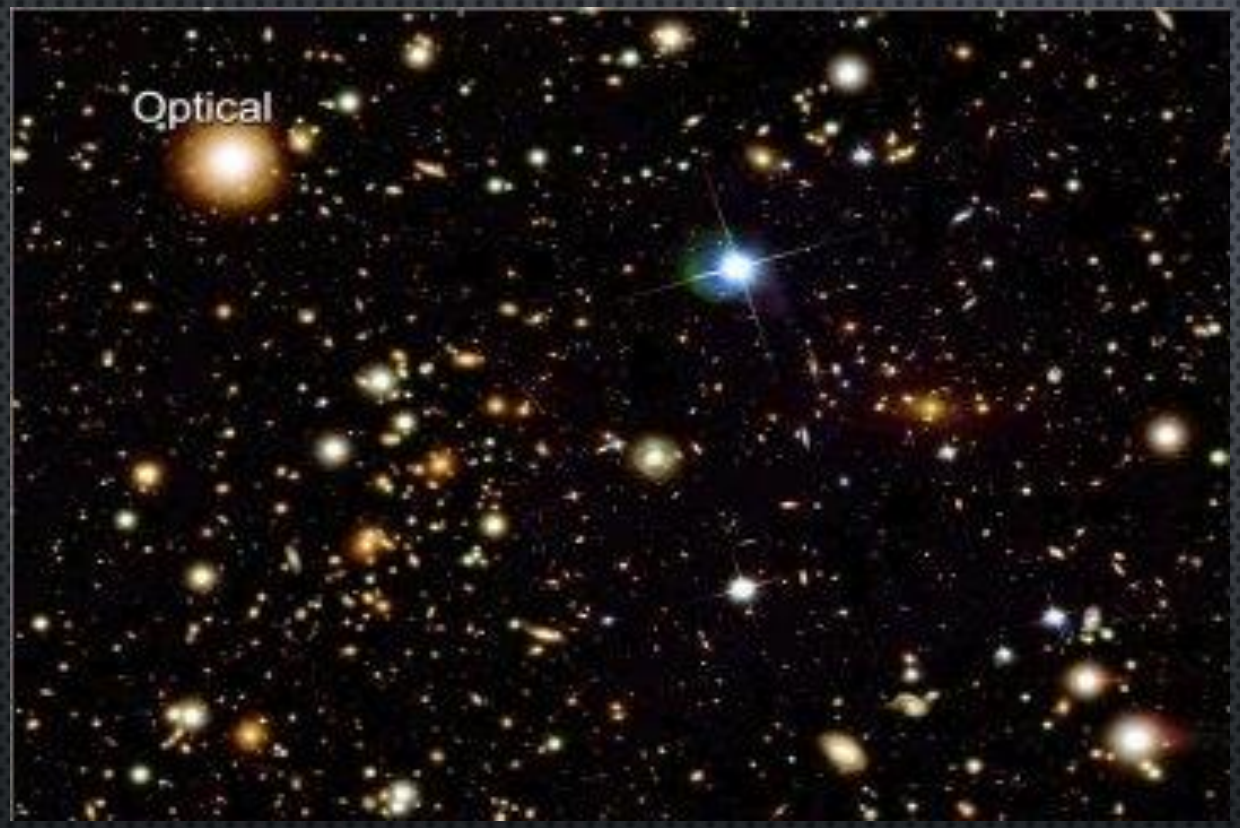
ned.ipac.caltech.edu

Данные по содержанию элементов
вместе с данными по реликтовому излучению
однозначно говорят о том, что барионов не хватает
для объяснения плотности вселенной!

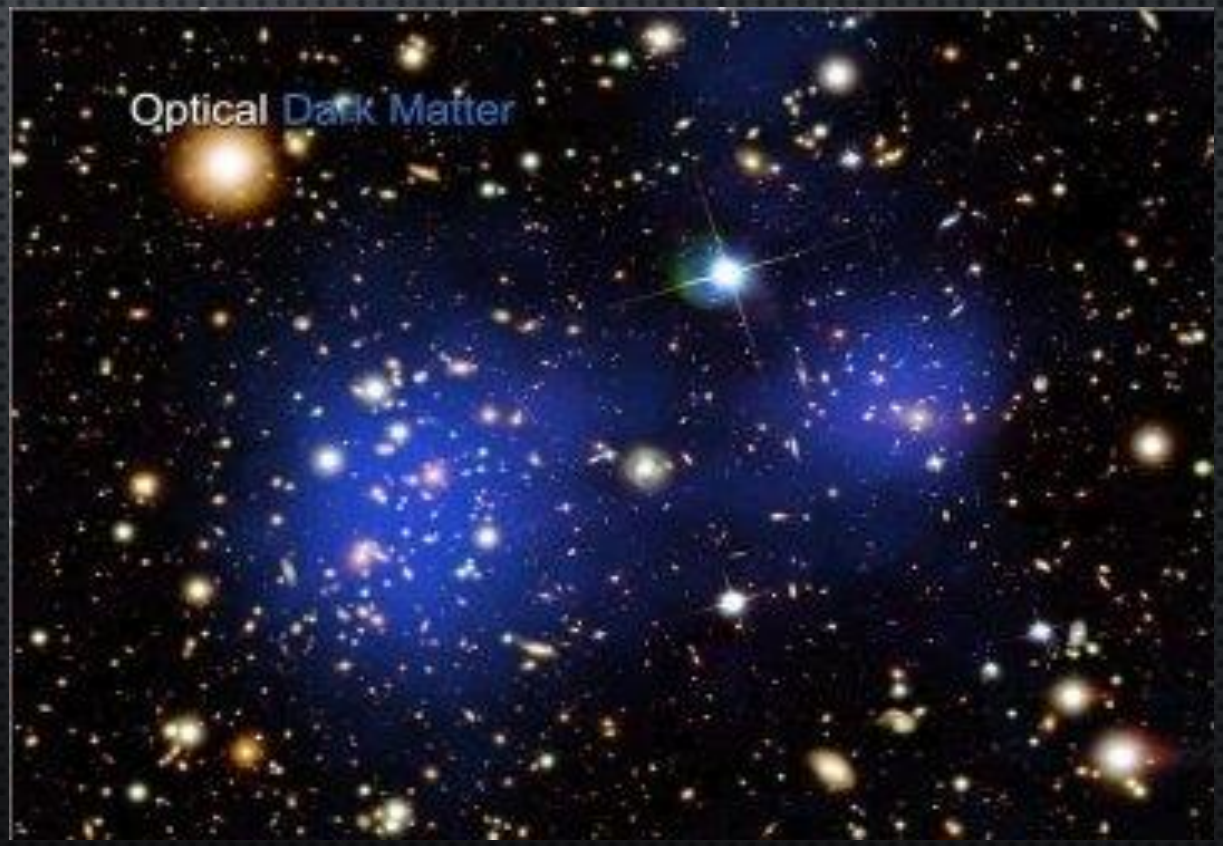


www.physicsoftheuniverse.com

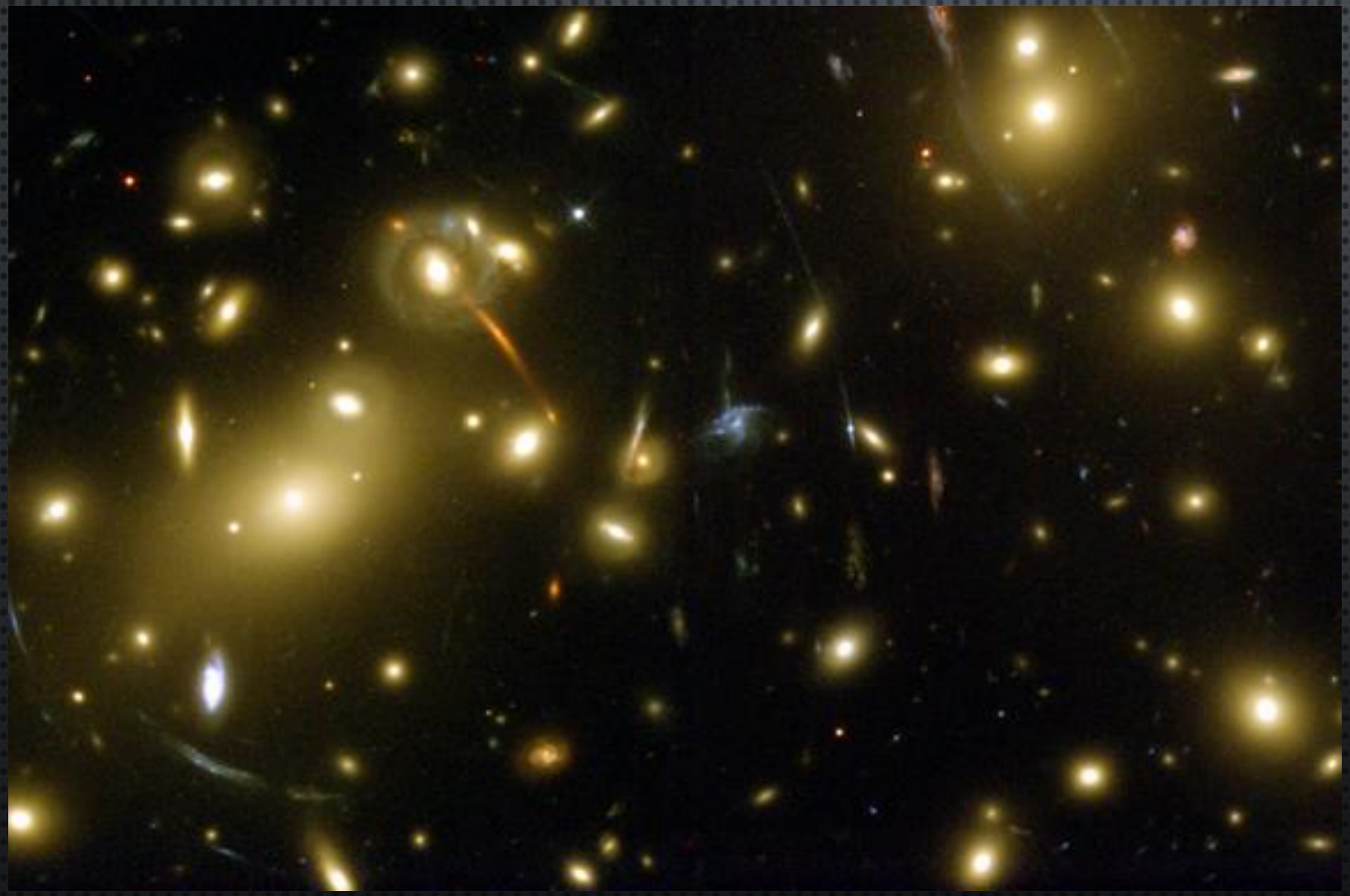
СИЛЬНЫЙ ПРЯМОЙ АРГУМЕНТ



Сталкивающиеся скопления галактик
1E 0657-56 (Bullet cluster)



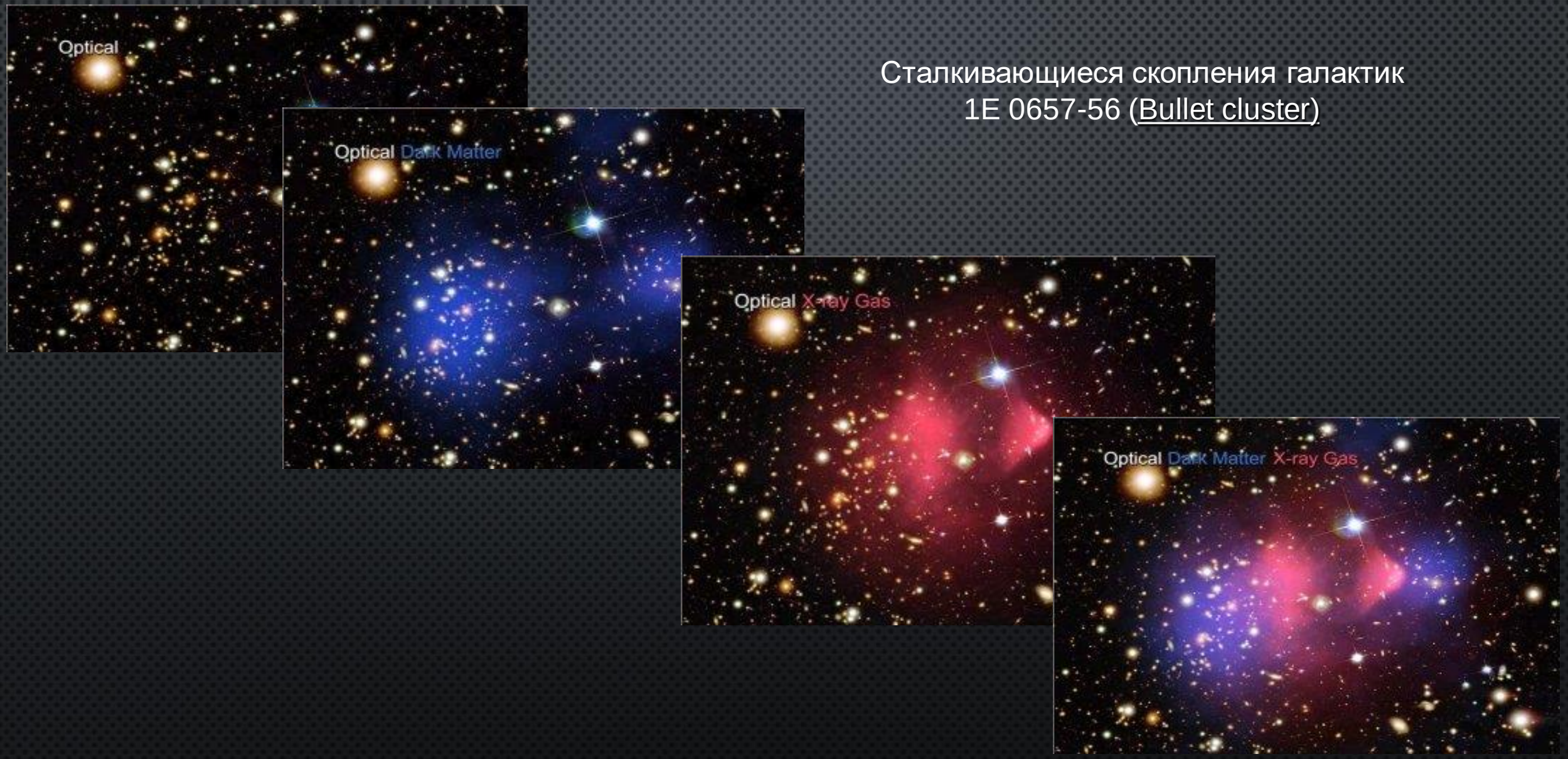
ГРАВИТАЦИОННОЕ ЛИНЗИРОВАНИЕ



Andrew Fruchter at STScI

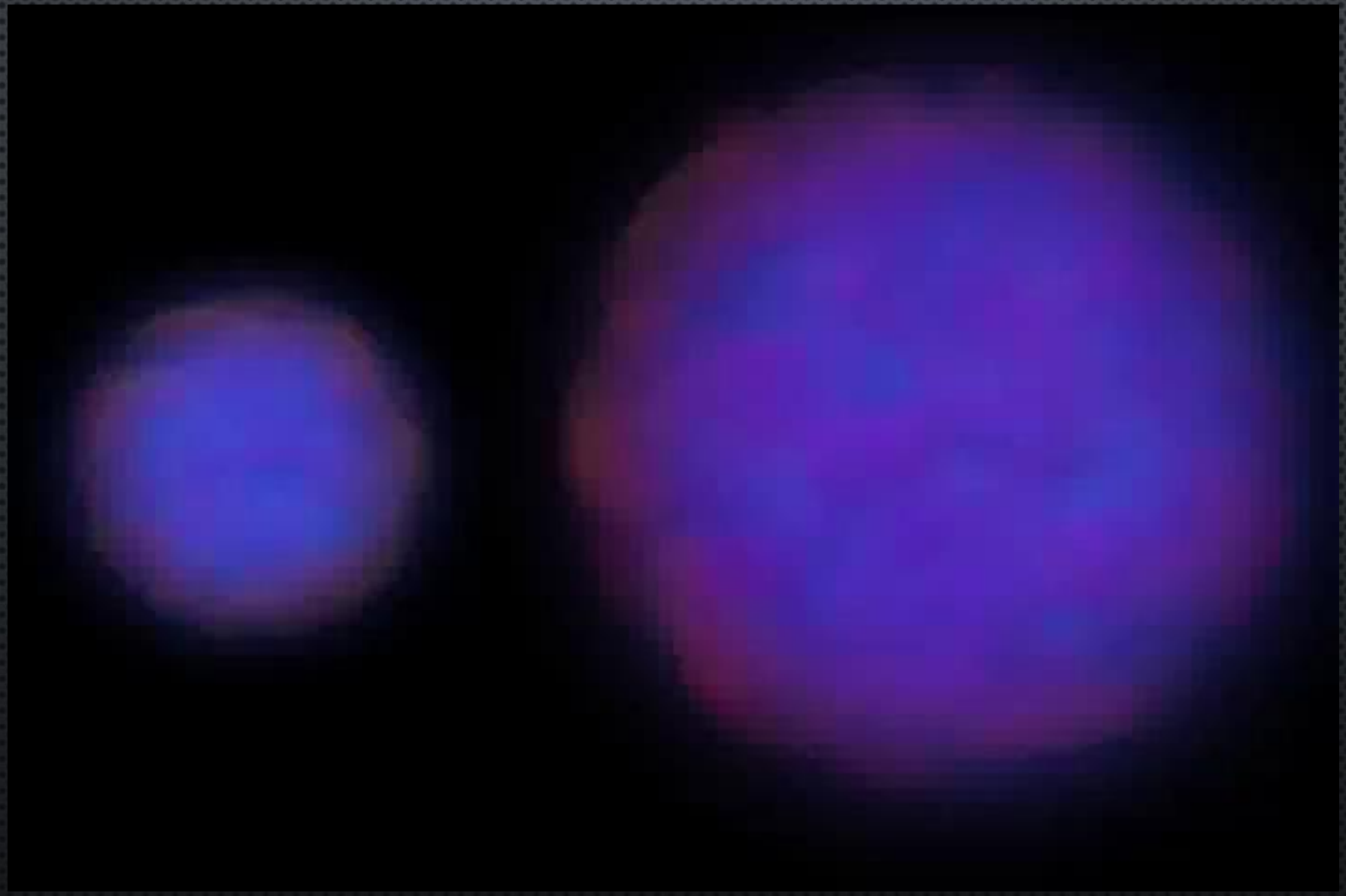
Благодаря эффекту гравитационного линзирования мы можем «видеть невидимое» и измерять его массу!

СИЛЬНЫЙ ПРЯМОЙ АРГУМЕНТ



Сталкивающиеся скопления галактик
1E 0657-56 (Bullet cluster)

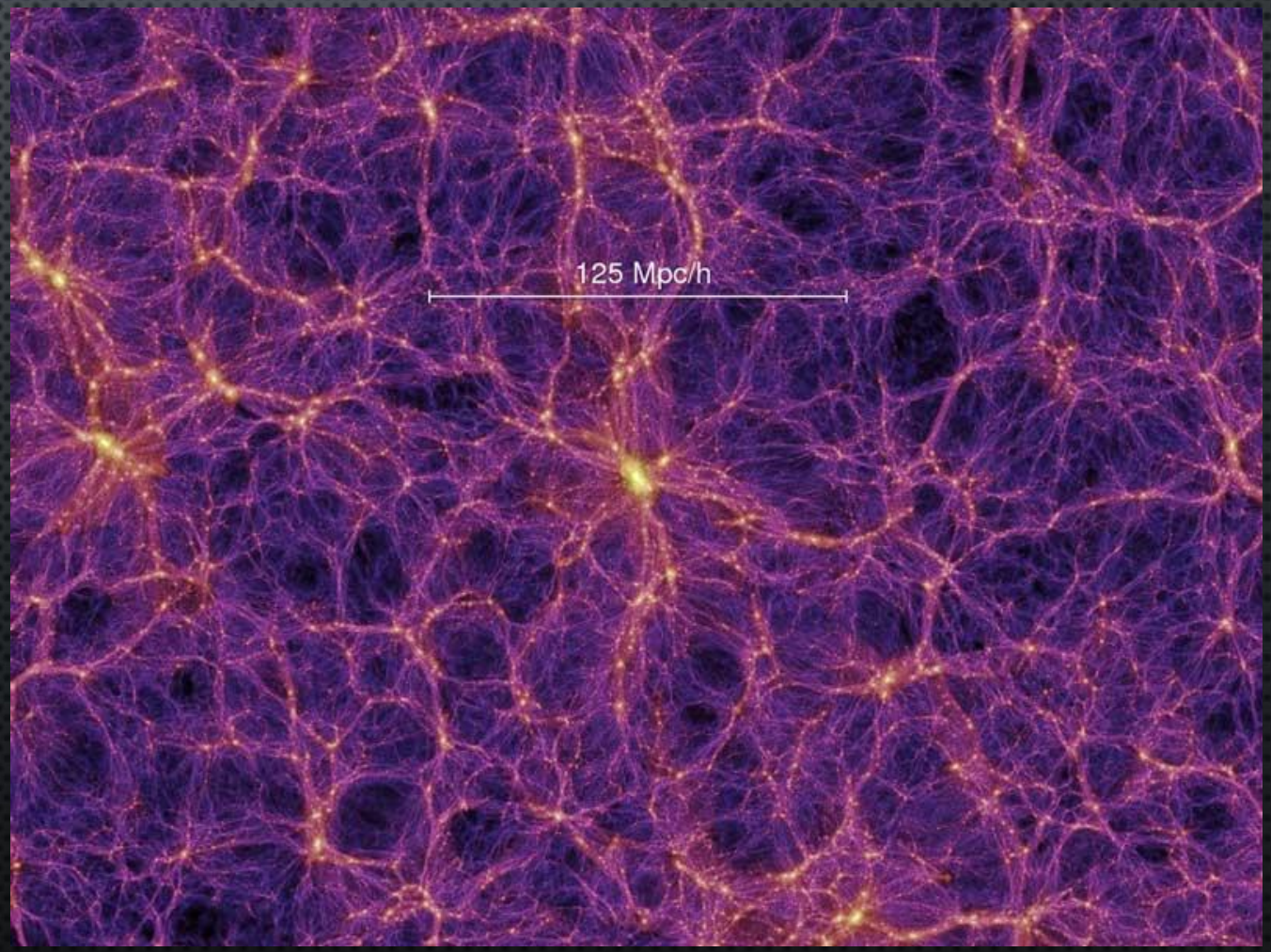
СТОЛКНОВЕНИЕ СКОПЛЕНИЙ ГАЛАКТИК



СКЕЛЕТ ВСЕЛЕННОЙ

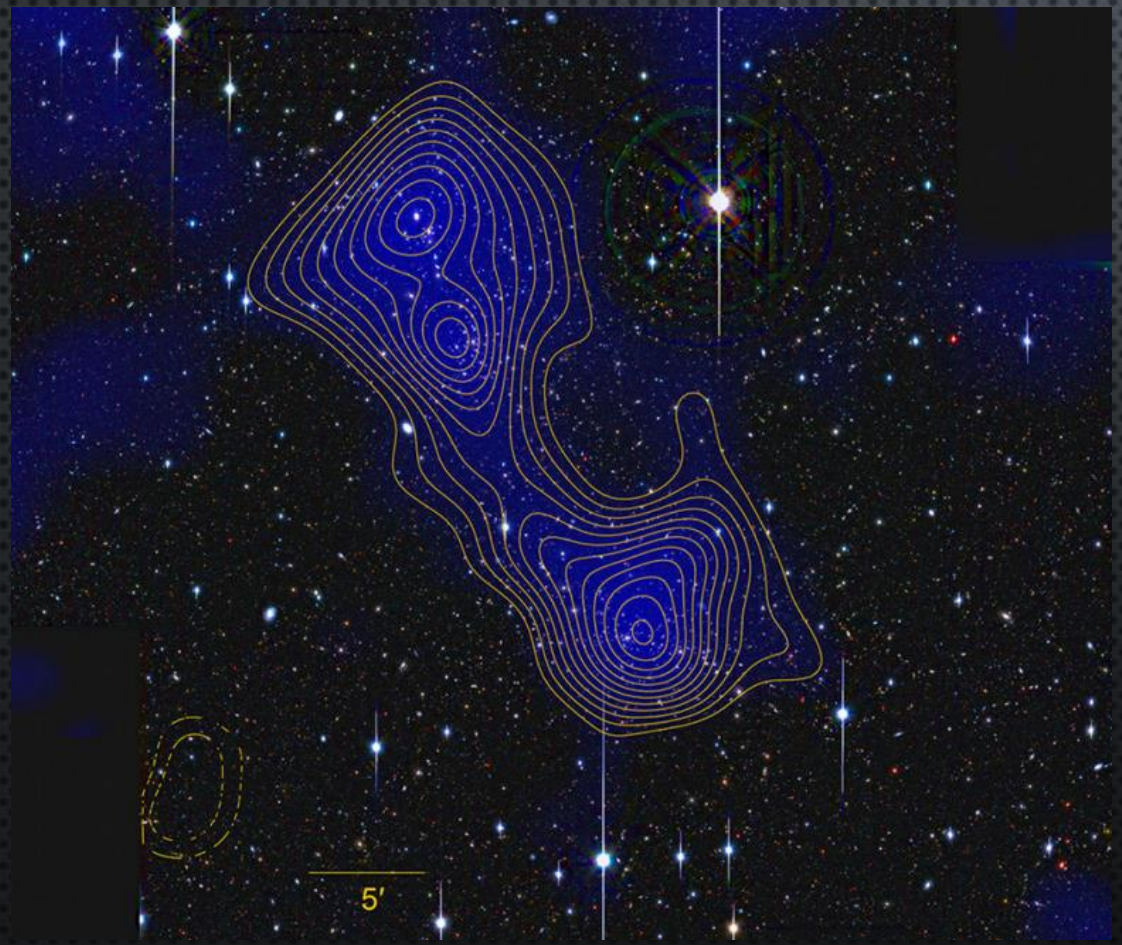
Крупномасштабная структура формируется в основном темным веществом.
Но видим мы галактики, их скопления, горячий газ – т.е., обычное вещество.

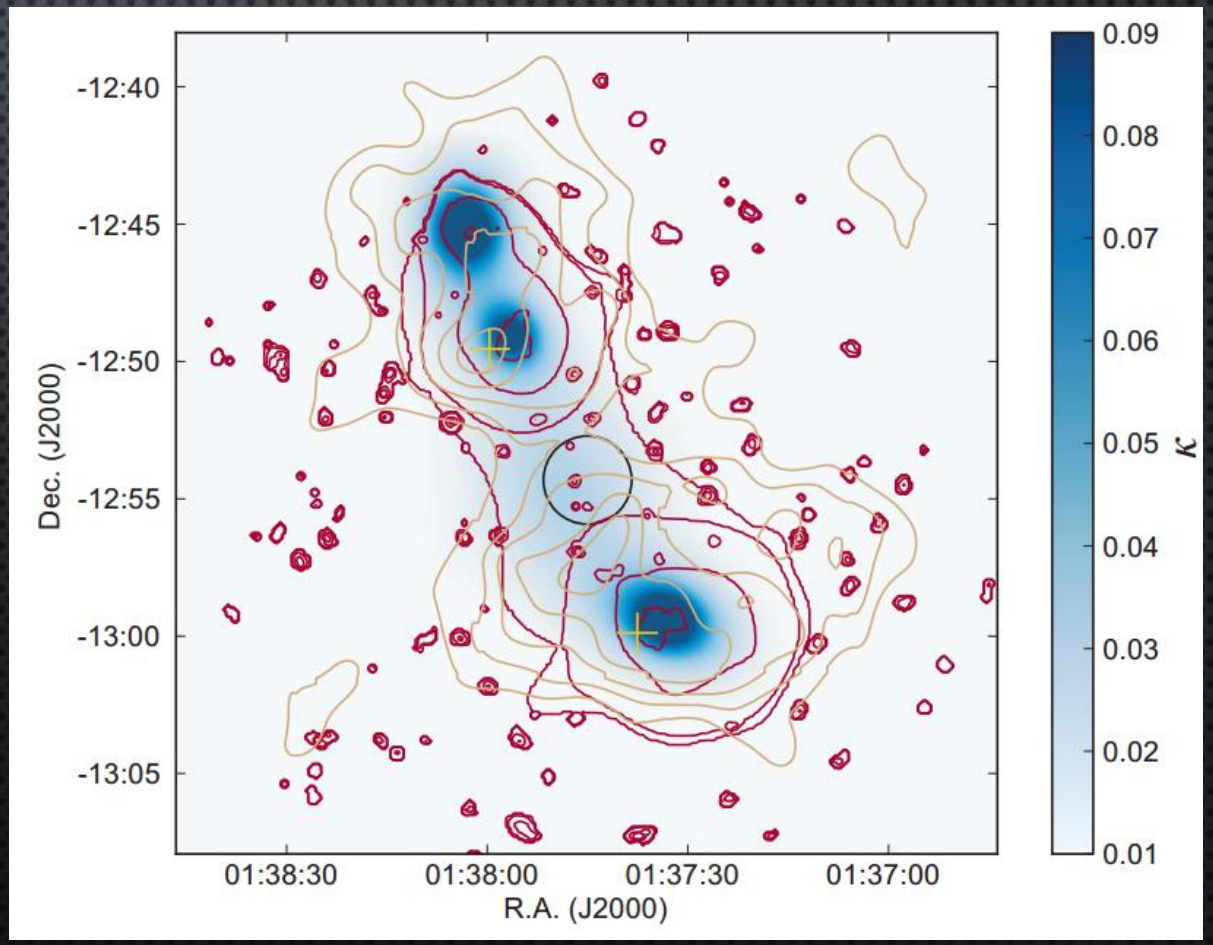
Как увидеть сам скелет вселенной?



ВОЛОКНО ТЕМНОГО ВЕЩЕСТВА

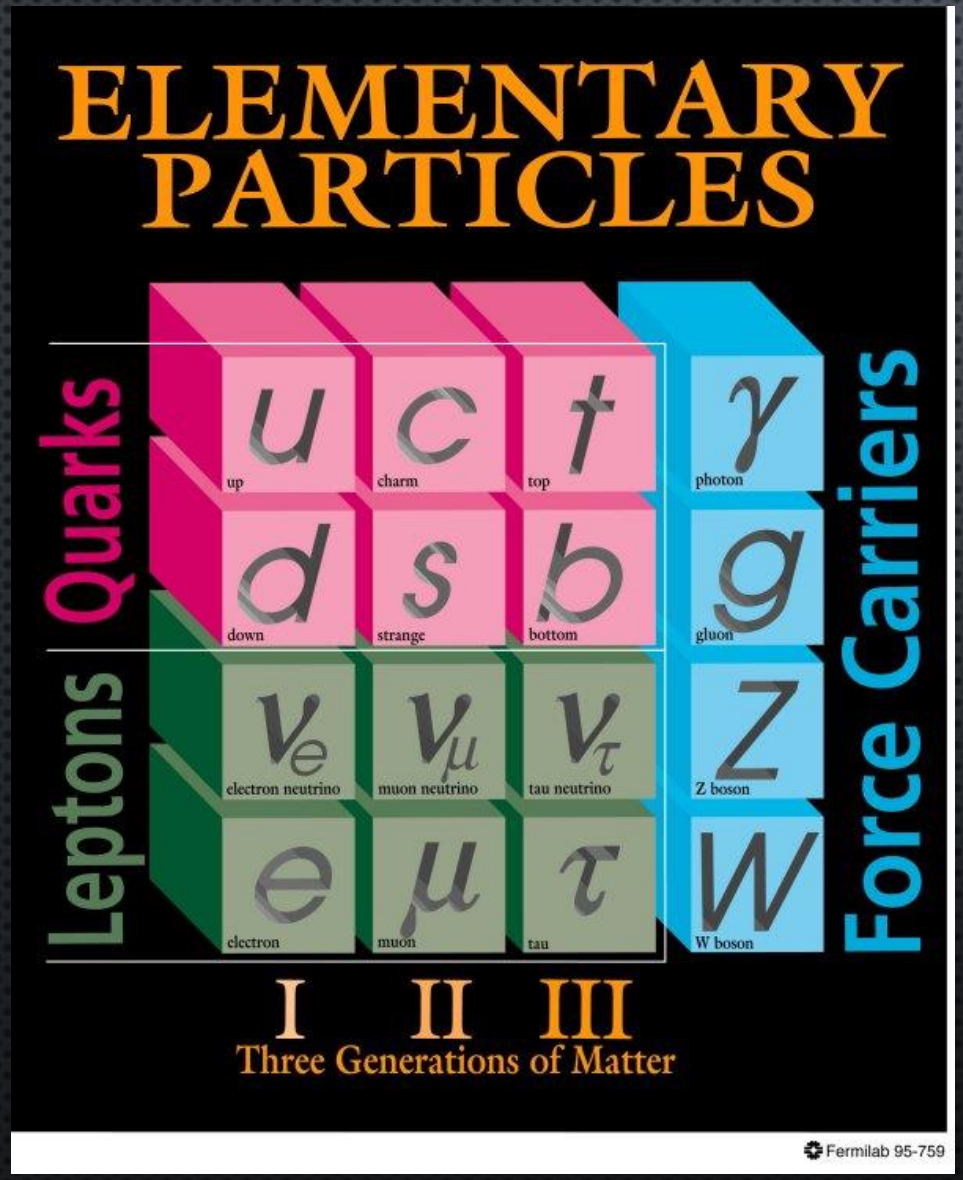
Скопления A222/223. z~0.2 Между скоплениями 18 Мпк.
Распределение массы восстанавливается по линзированию.
Массы газа не хватит для объяснения массы волокна.





1207.0809

СТАНДАРТНАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ



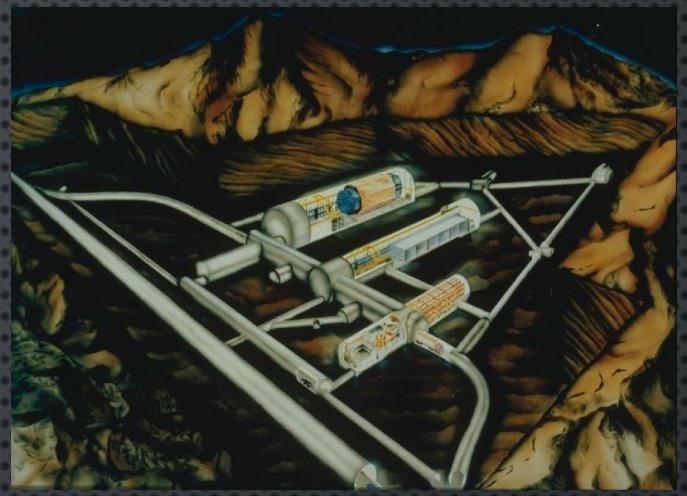
Частицы темного вещества должны быть другими,
т.е. это не могут быть частицы Стандартной модели.

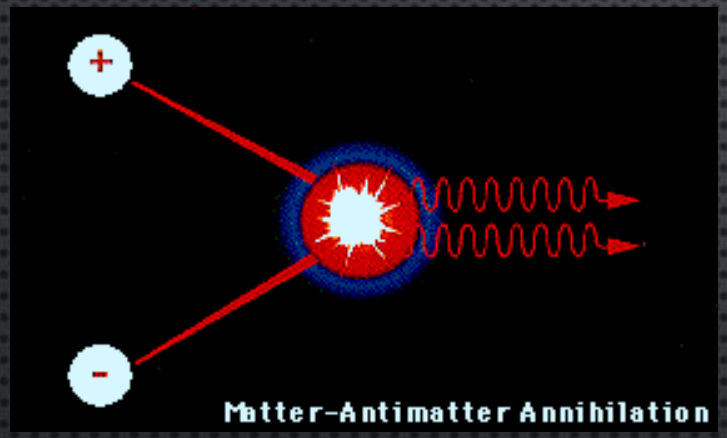
Обсуждаются самые разные варианты.

Какие-то из кандидатов можно обнаружить
в лабораторных экспериментах или
астрономических наблюдениях.
А какие-то надолго останутся неуловимыми.

ПОИСК ТЕМНОЙ МАТЕРИИ

1) Частицы темного вещества пытаются поймать в подземных лабораториях. Есть основания думать, что в ближайшие годы это будет сделано.





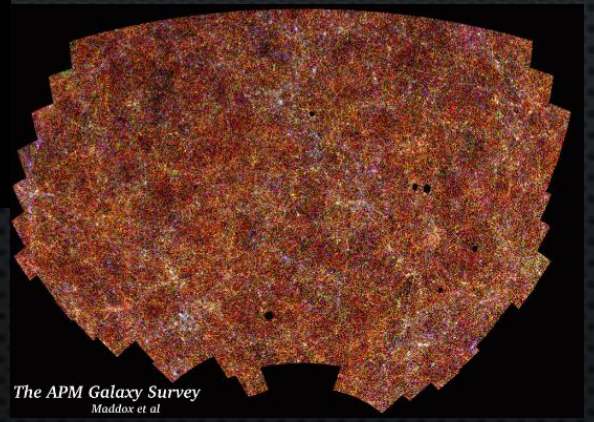
2) Также можно искать гамма-лучи от аннигиляции частиц темного вещества

Такие исследования активно ведутся с помощью обсерватории имени Ферми и наземных гамма-телескопов.

Галактика

Близкие галактики

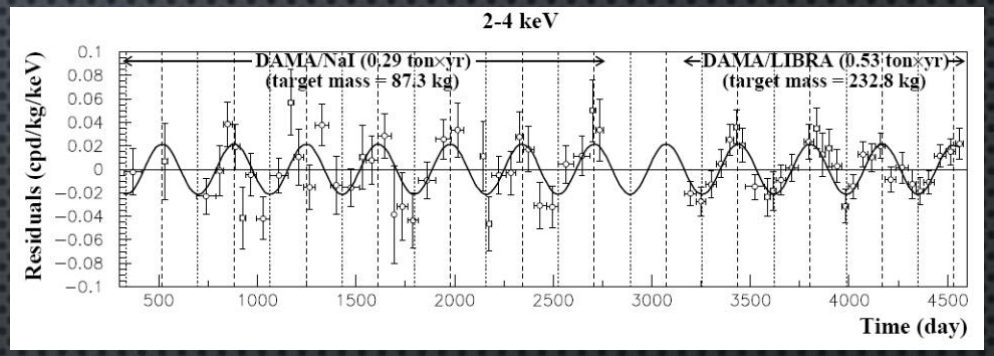
Фон от далеких галактик

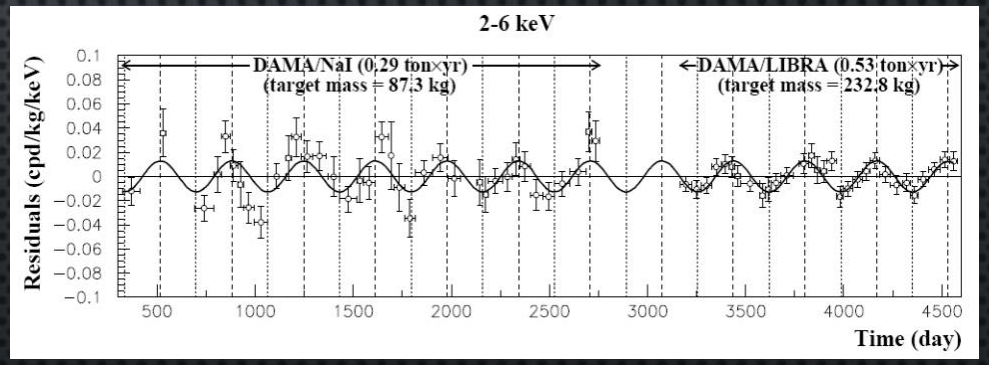


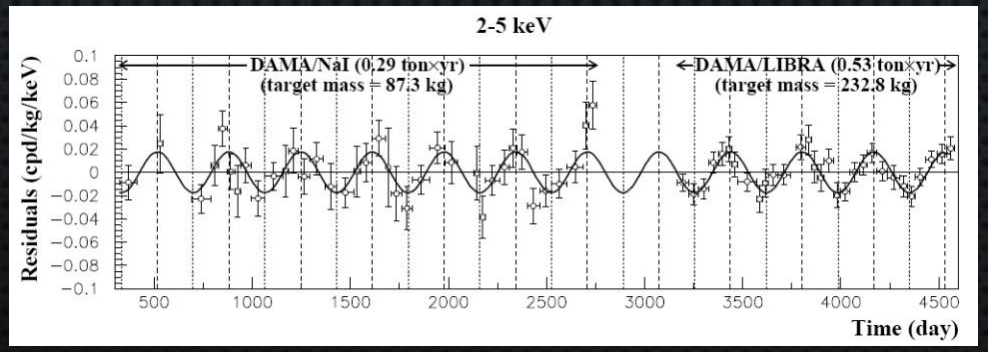
Так же была надежда найти что-то на LHC

ПРЯМЫЕ ПОИСКИ ТЕМНОЙ МАТЕРИИ В ЛАБОРАТОРИЯХ НА ЗЕМЛЕ

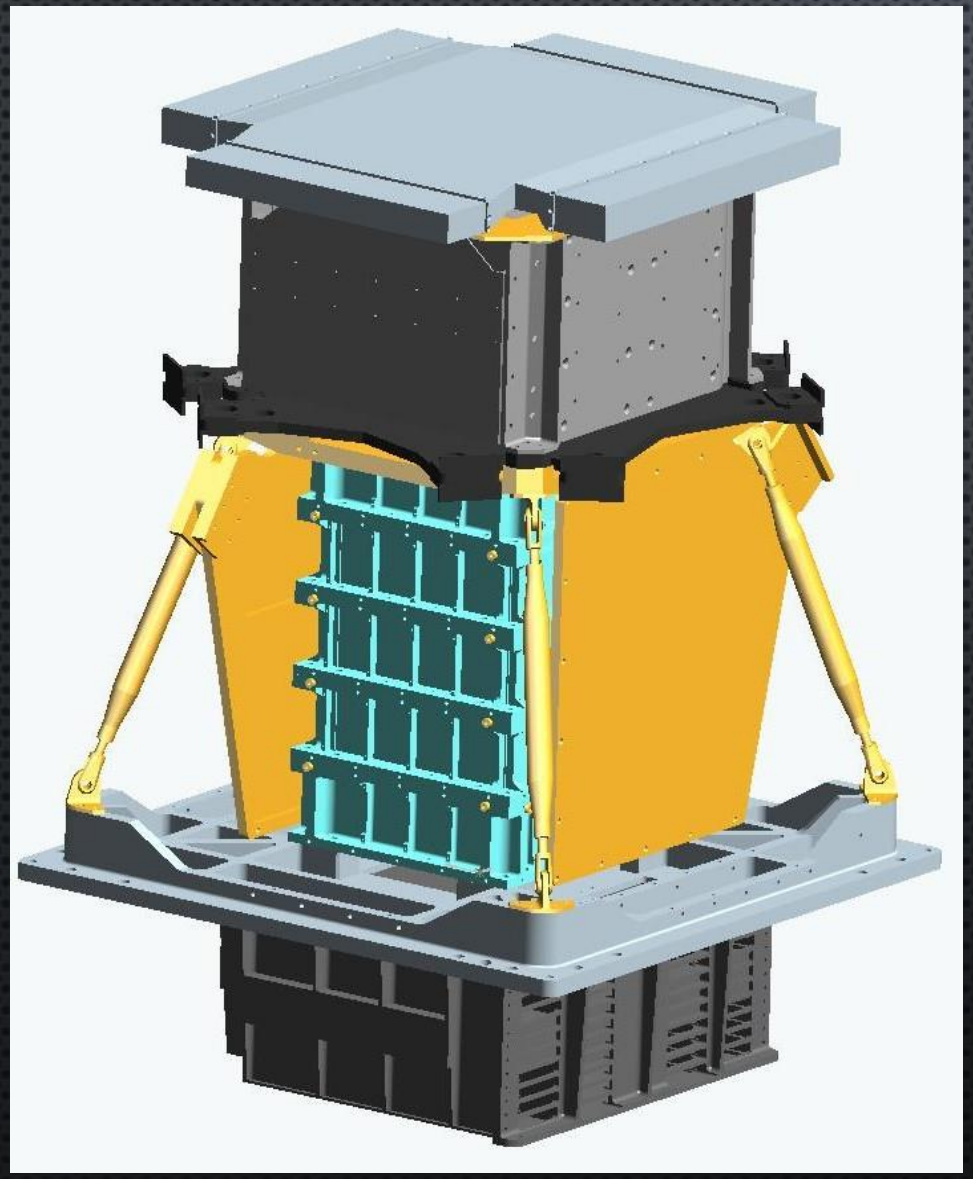
Эксперимент DAMA/LIBRA



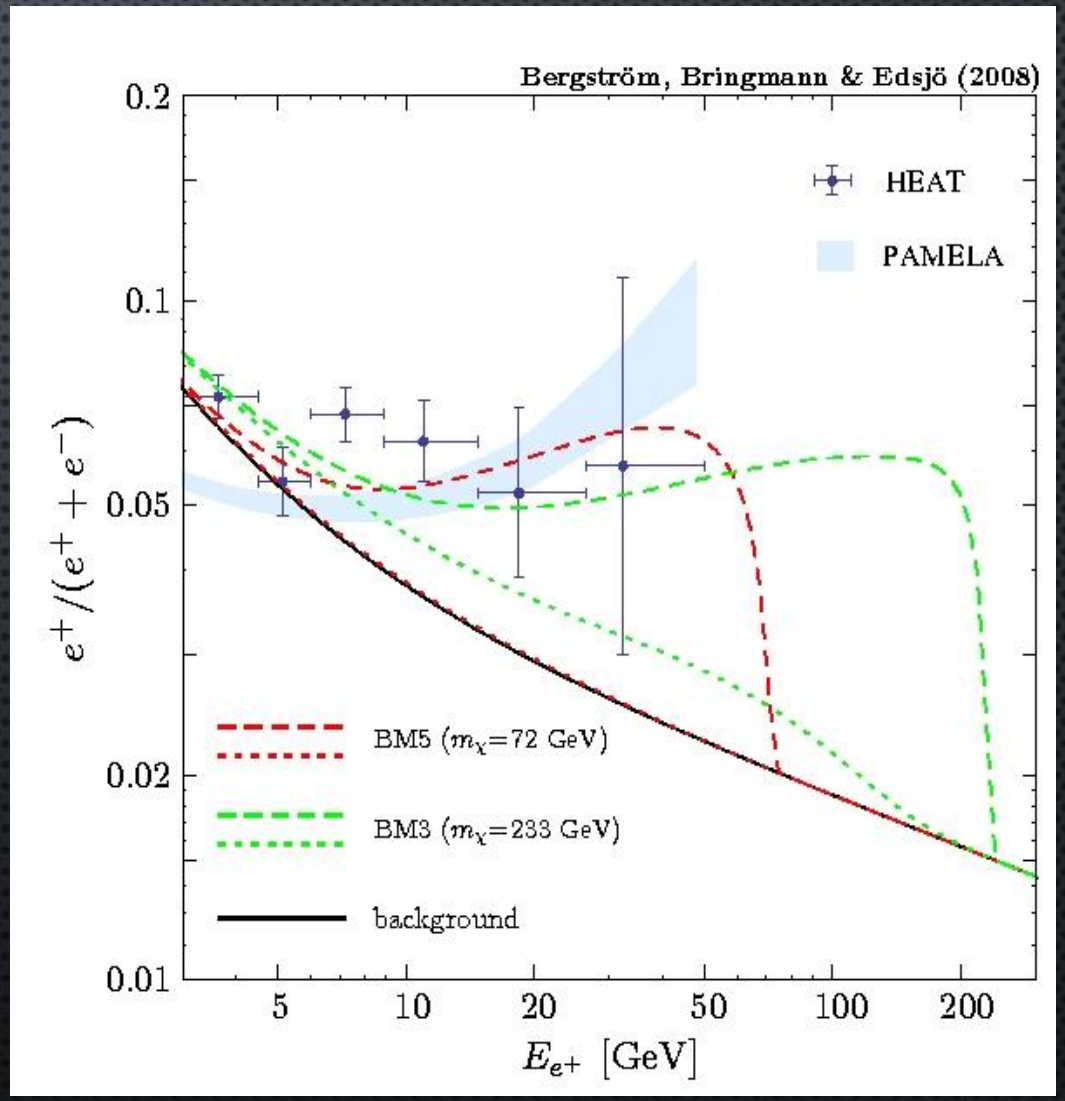




ПОИСКИ СЛЕДОВ АННИГИЛЯЦИИ



Приборы Pamela

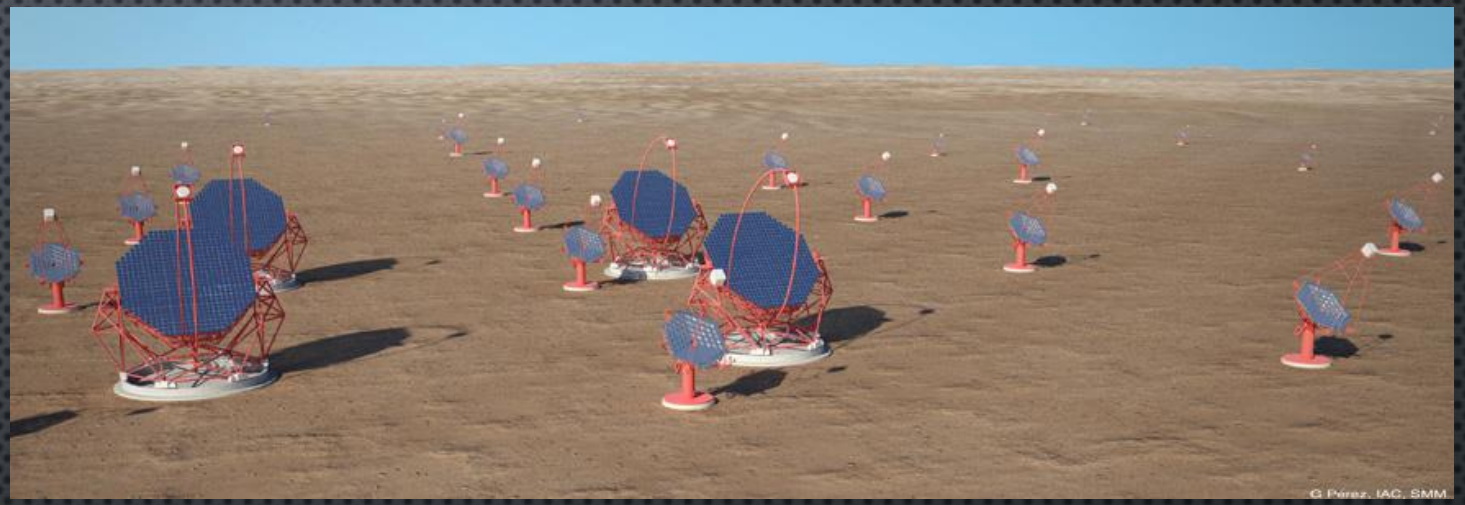


Избыток позитронов

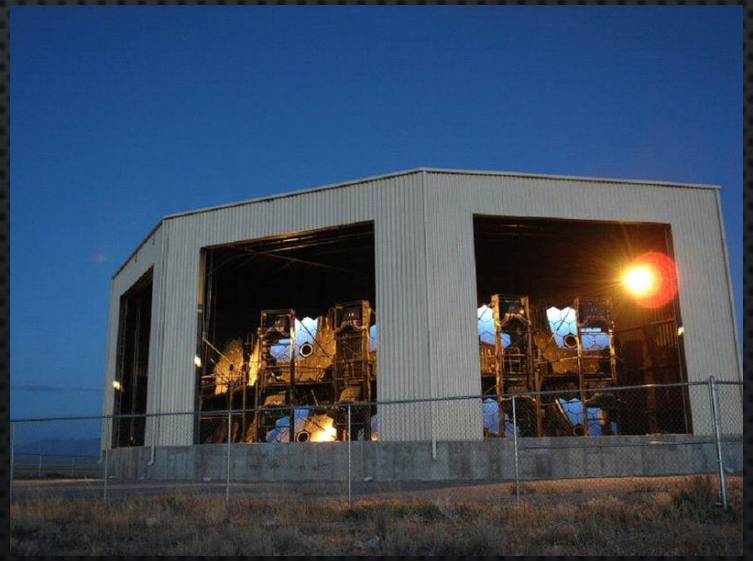
ГАММА-ТЕЛЕСКОПЫ

В 2008 году состоялся запуск гамма-обсерватории GLAST, получившей затем имя Fermi.
Одной из важнейших задач этого проекта является обнаружение гамма-лучей, возникающих при аннигиляции частиц темного вещества.

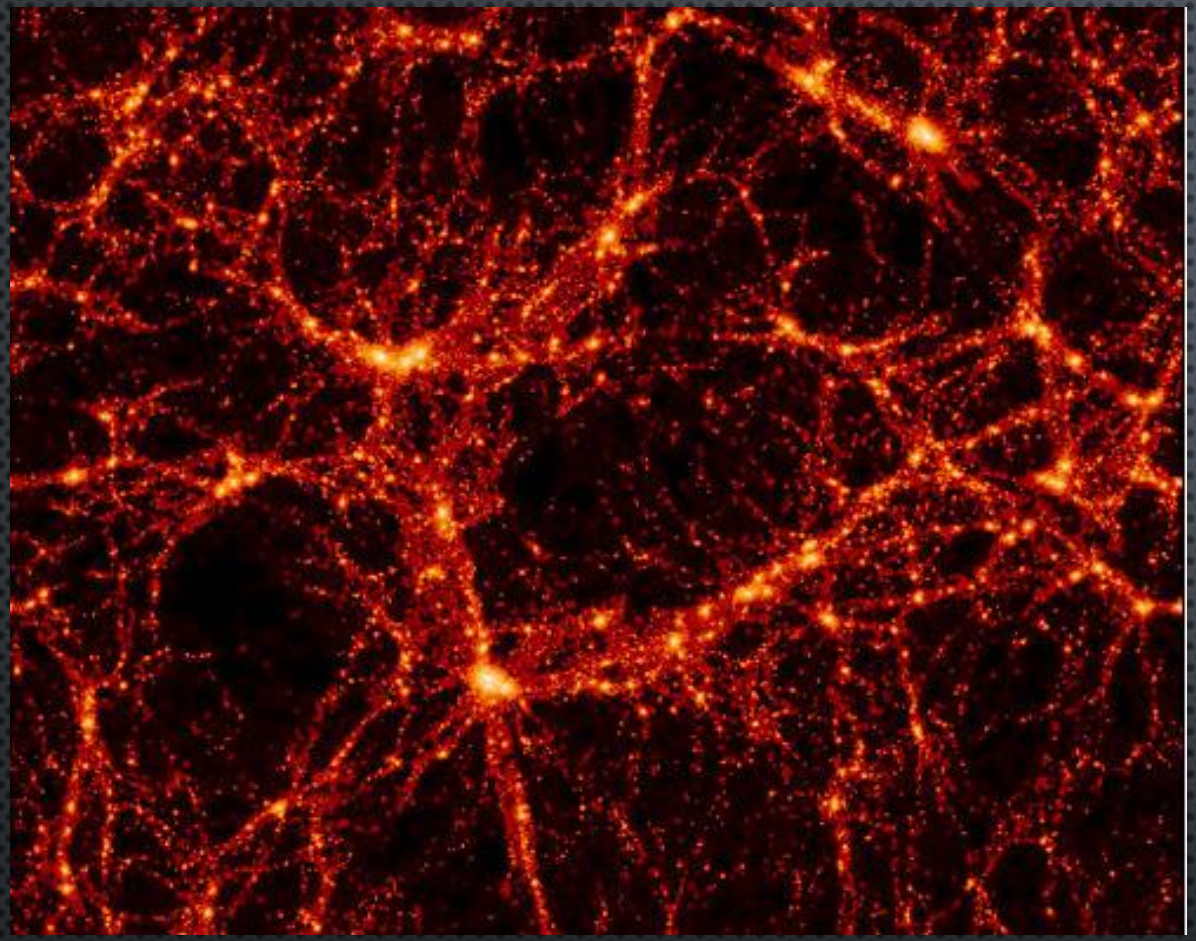
Строятся новые наземные гамма-телескопы



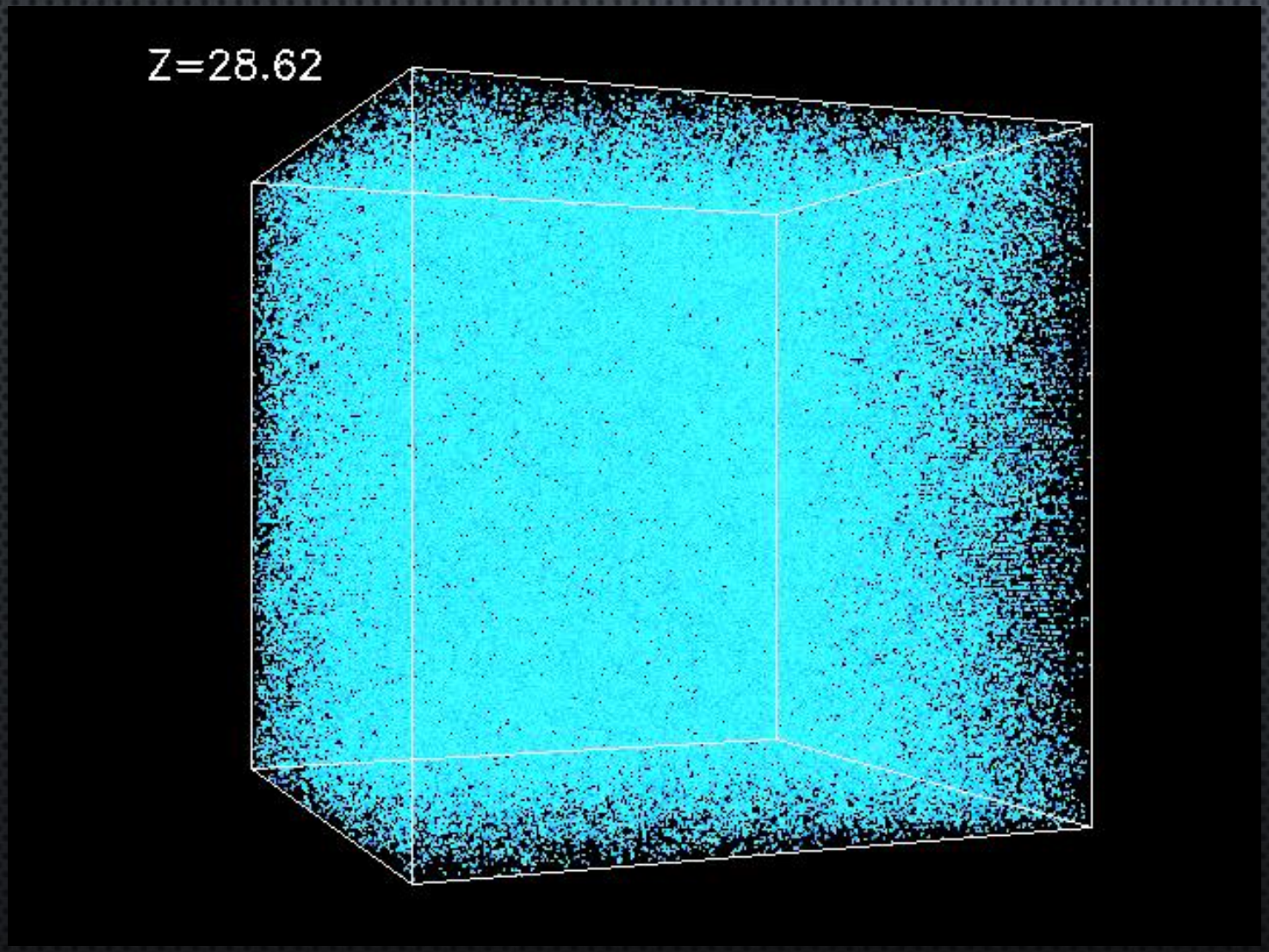
Проект Cerenkov Telescope Array



Telescope array



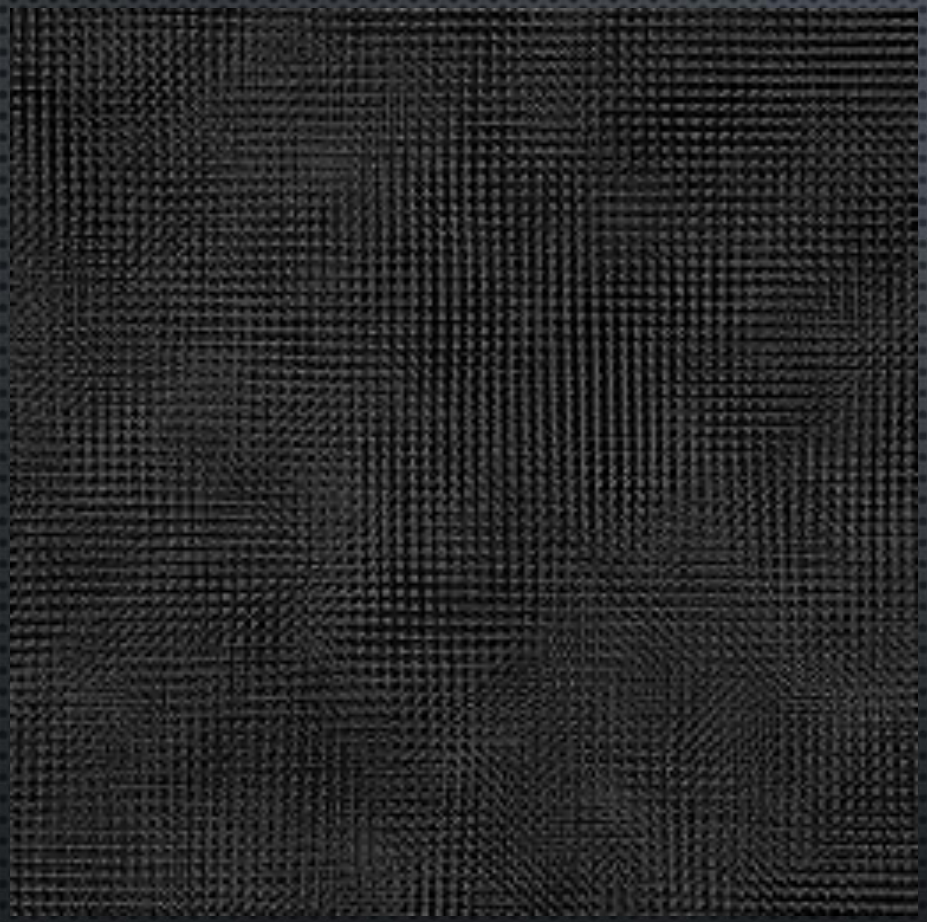
РАЗВИТИЕ СТРУКТУР

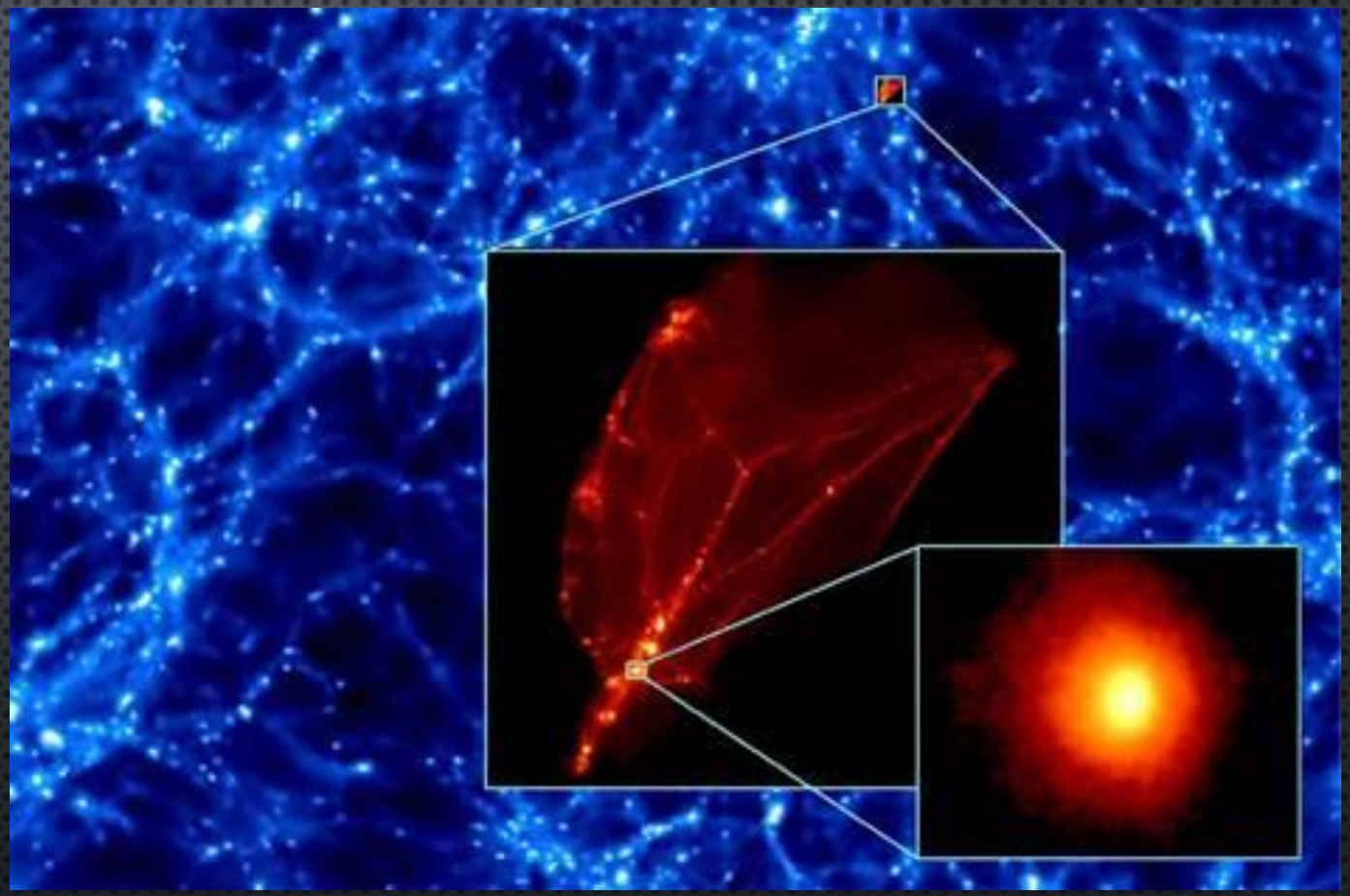


Под действием гравитации из-за изначально неоднородного распределения плотности во Вселенной идет рост структуры.

К настоящему моменту самые крупные образования – это скопления галактик

ФОРМИРОВАНИЕ ГАЛАКТИК





Постепенно формируется галактика, где самым массивным элементом является гало темной материи.
Как же распределено вещество в этом гало?

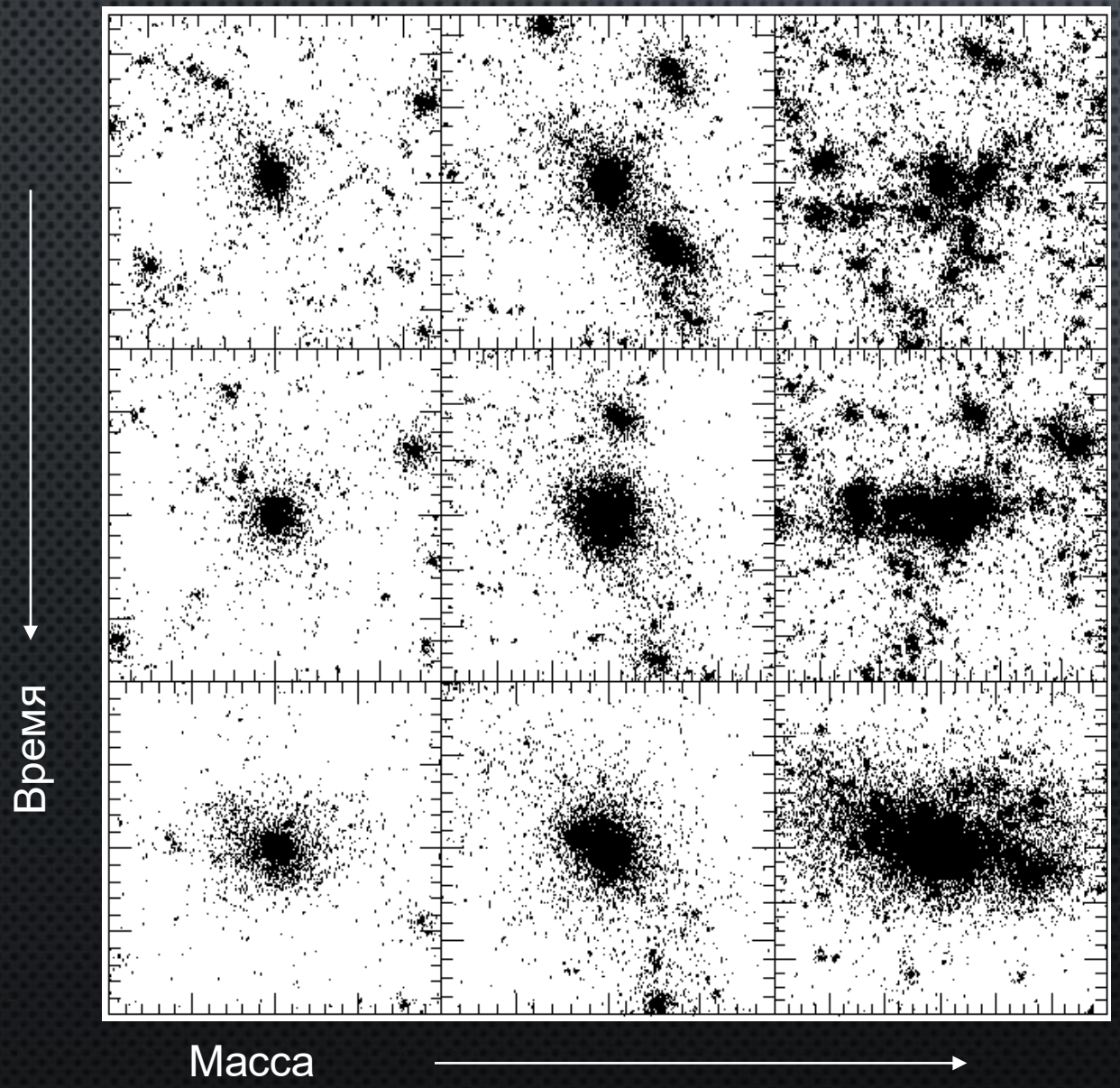
УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ПРОФИЛЬ ГАЛО

Navarro, Frenk и White в 1996-97 гг. построили численную модель, которая была призвана рассчитать распределение вещества в гало темной материи в типичной галактике, образовавшейся в процессе иерархического скучивания.

Было показано, что существует универсальный профиль, который не зависит от массы галактики и от ряда начальных условий.

Также было рассчитано, как профиль меняется со временем.

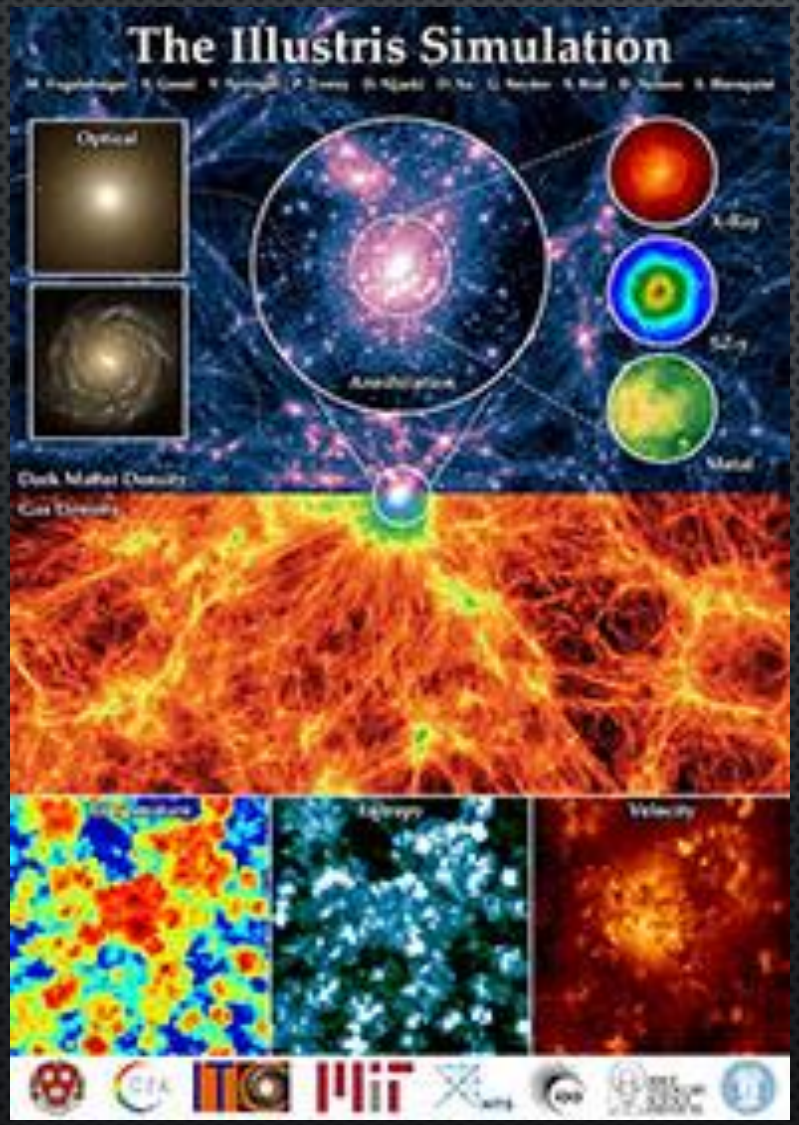
РОСТ ГАЛО СО ВРЕМЕНЕМ

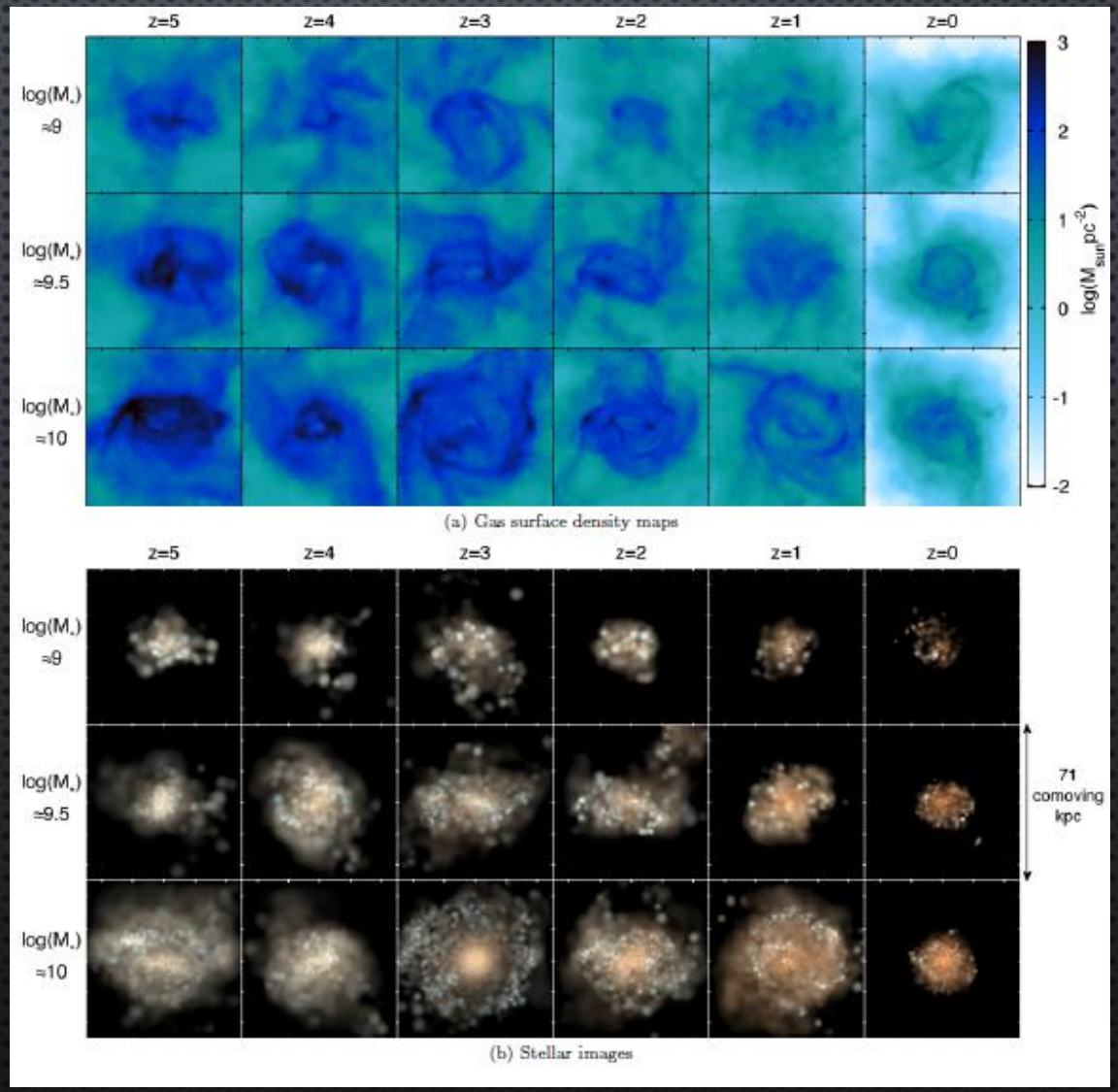


Эволюция гало разной массы.
Гало небольшой массы формируются раньше.
Поэтому они и плотнее в любой заданный момент времени.

Т.е., плотность гало зависит от средней плотности вещества во вселенной на момент коллапса гало.

ILLUSTRIS

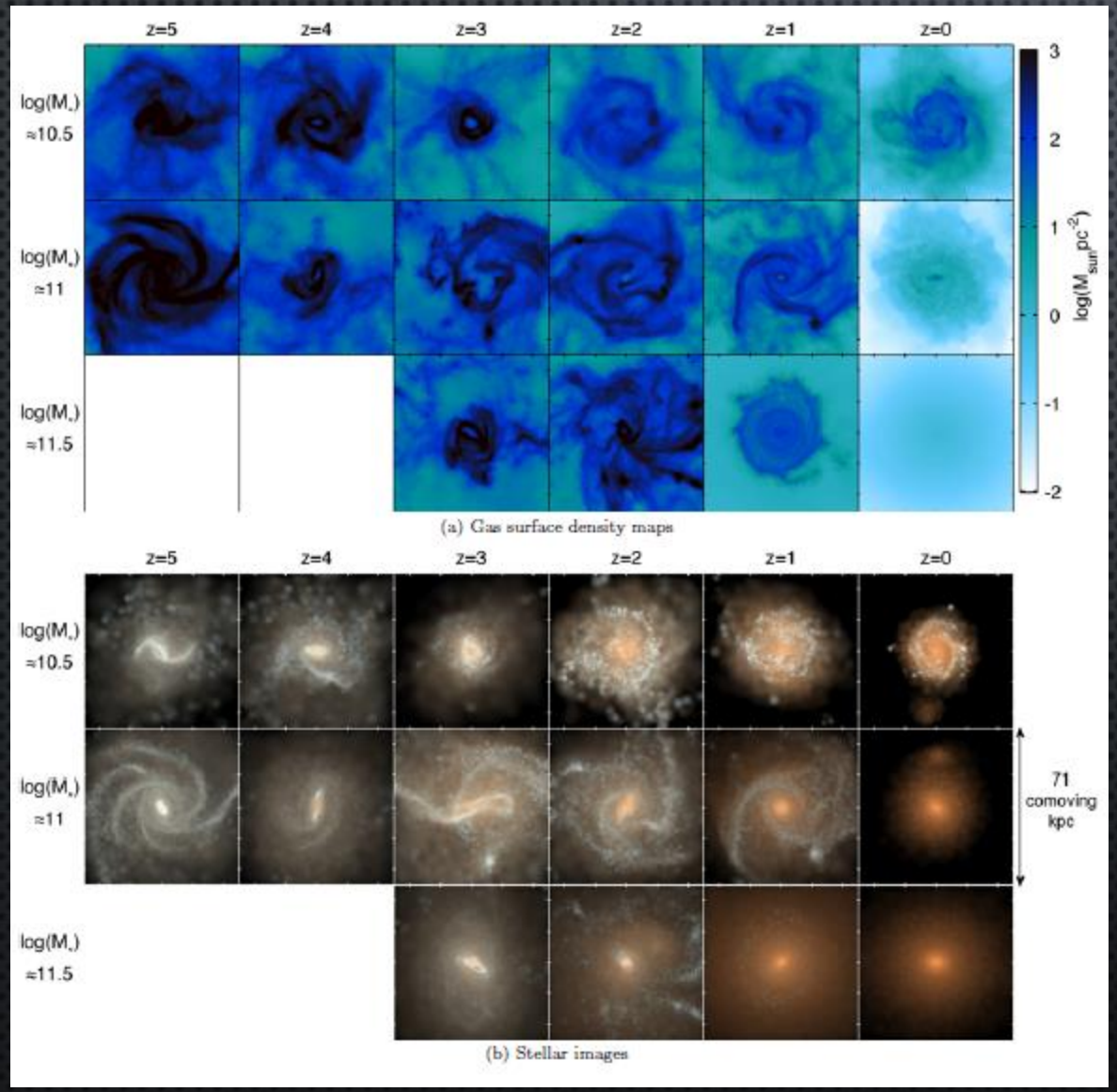




Новое численное моделирование формирования галактик и крупномасштабной структуры

1405.3749

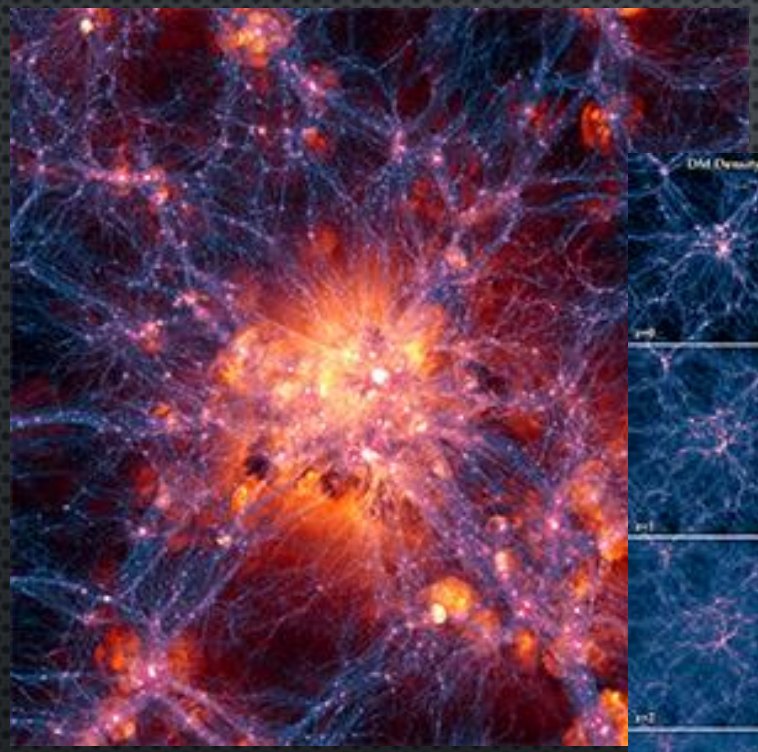
КРУПНЫЕ ГАЛАКТИКИ

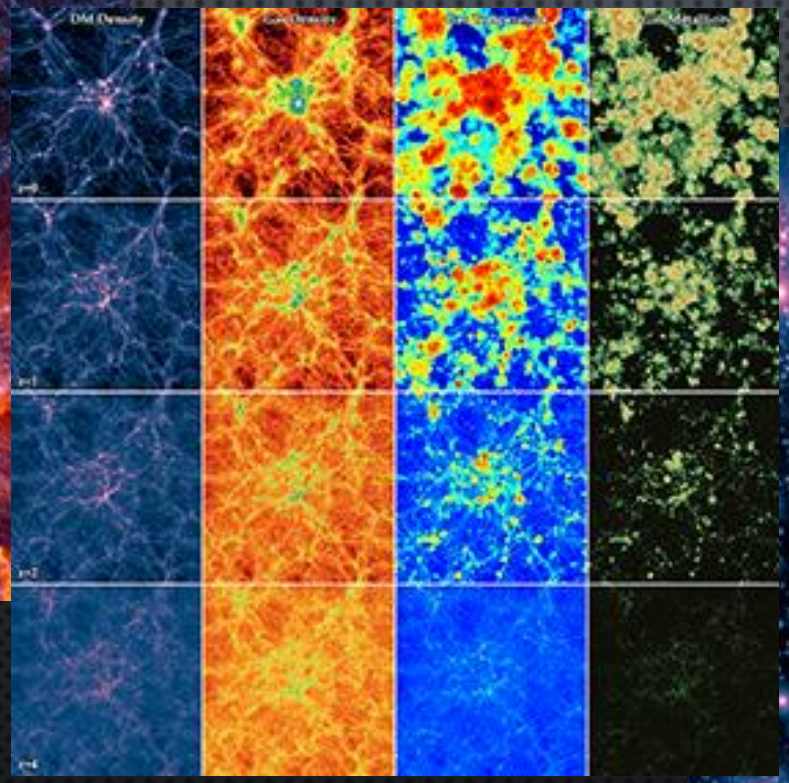


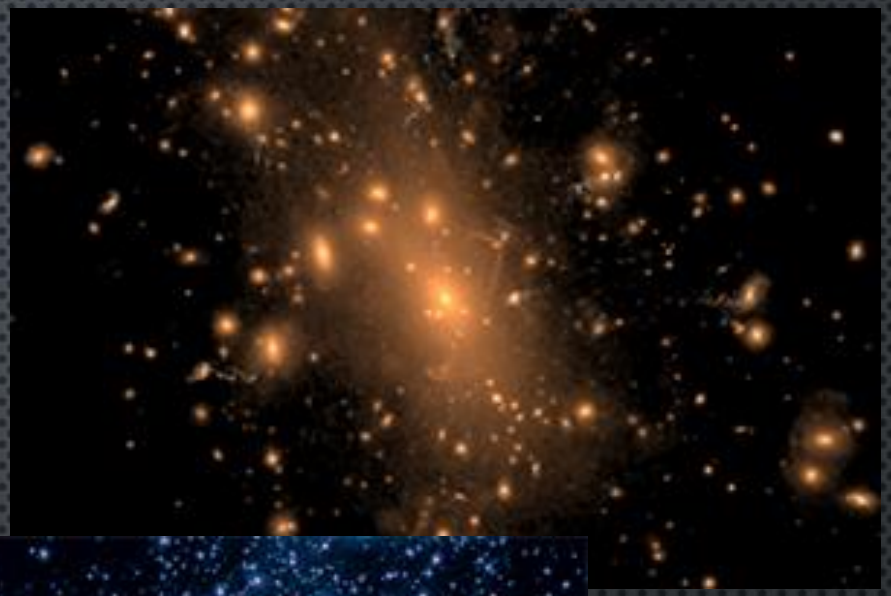
1405.3749

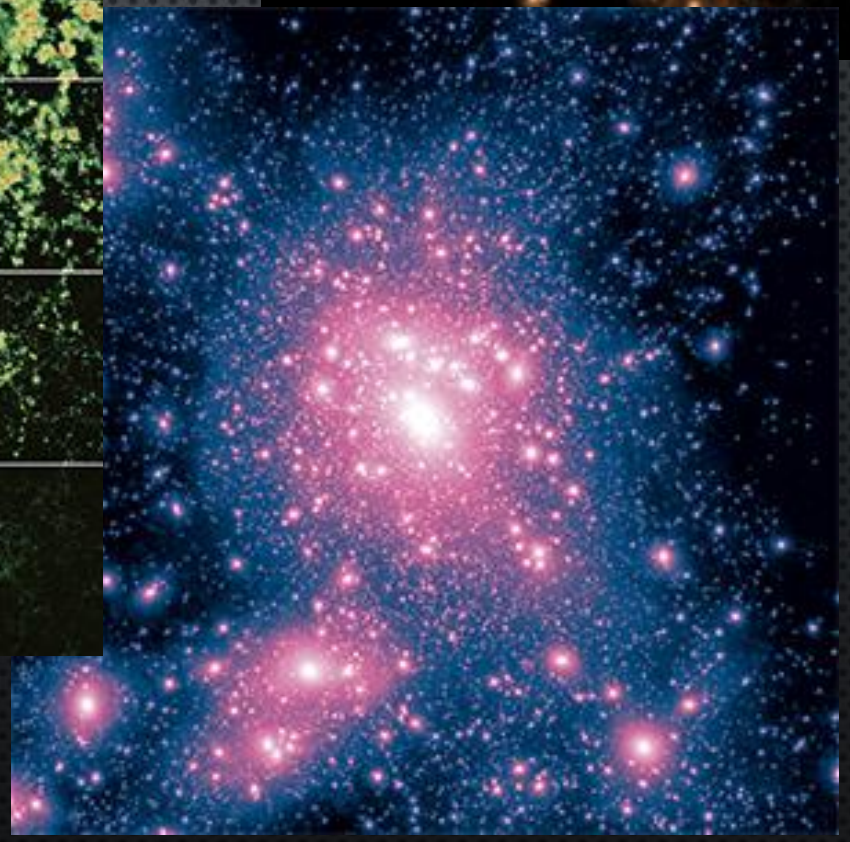
Прямо можно изучать, как образуются галактики разного вида и сравнивать с данными наблюдений.

… ДО САМЫХ ДО ОКРАИН …



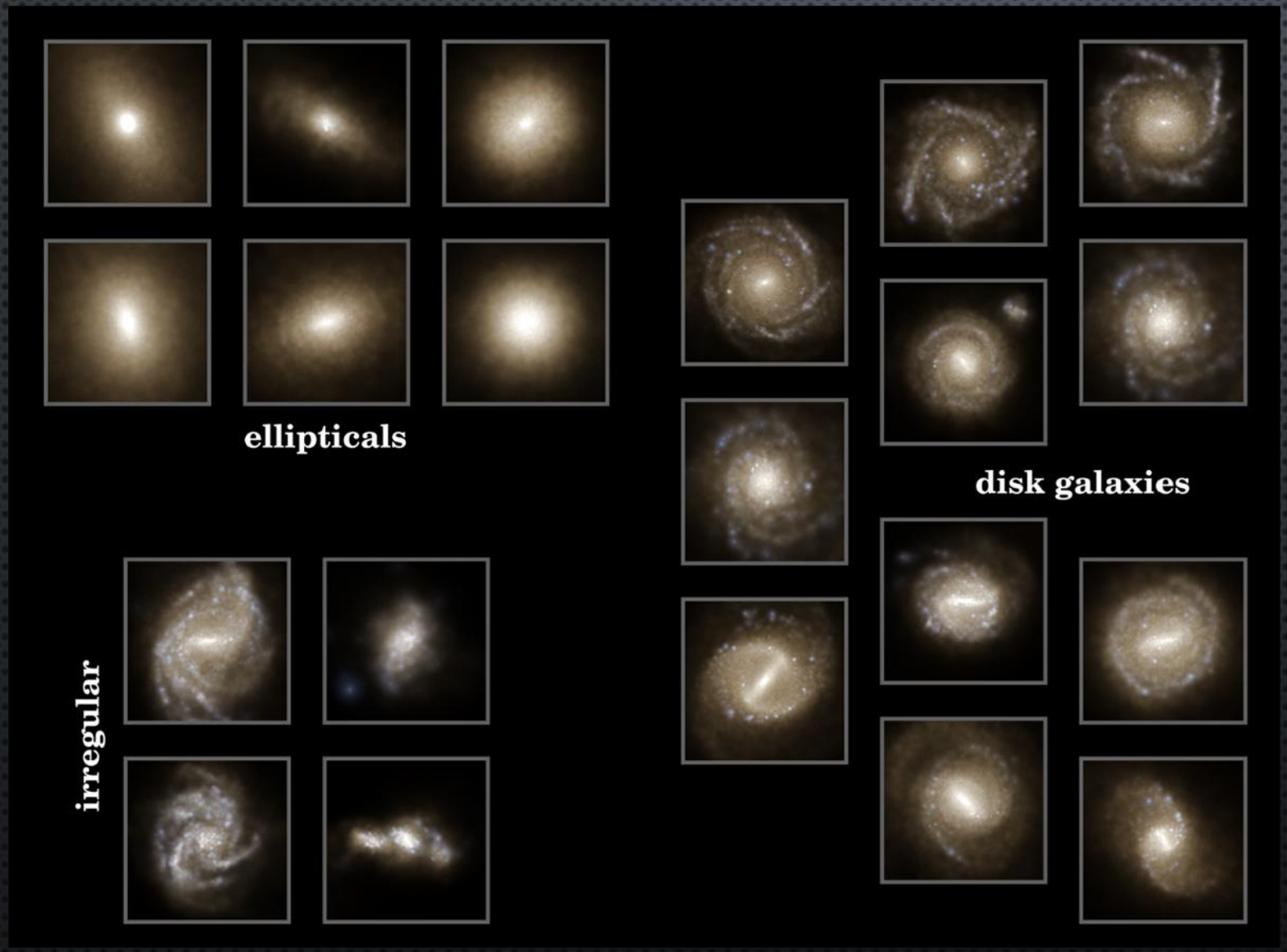






http://www.illustris-project.org/media/

ФОРМИРОВАНИЕ ГАЛАКТИК

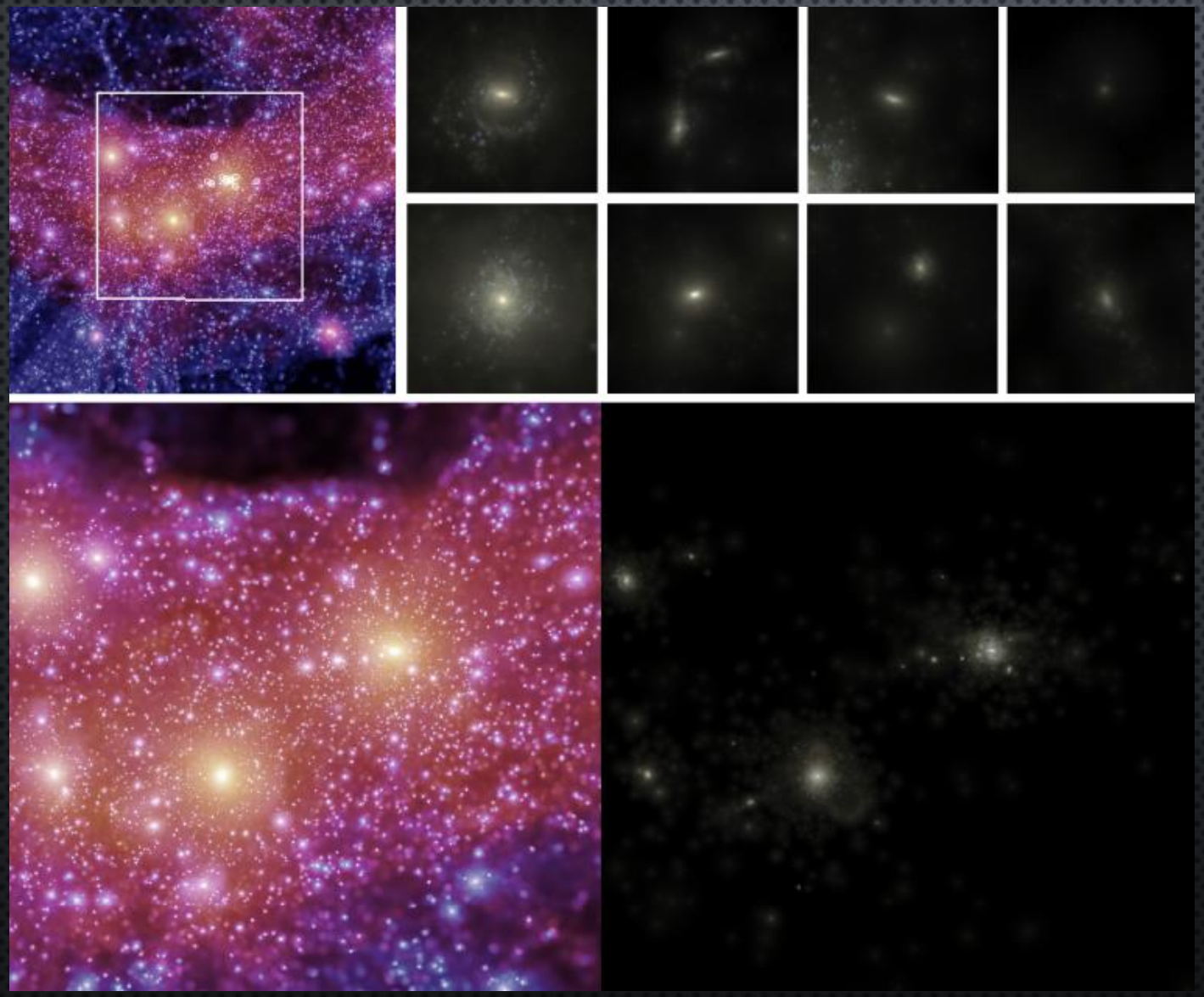


Галактики, полученные в результате численного моделирования, неотличимы от наблюдаемых.

Исследуя «компьютерные галактики», можно проследить эволюцию наблюдаемых галактик определенных типов.

http://www.illustris-project.org/media/

МЕСТНАЯ ГРУППА ГАЛАКТИК



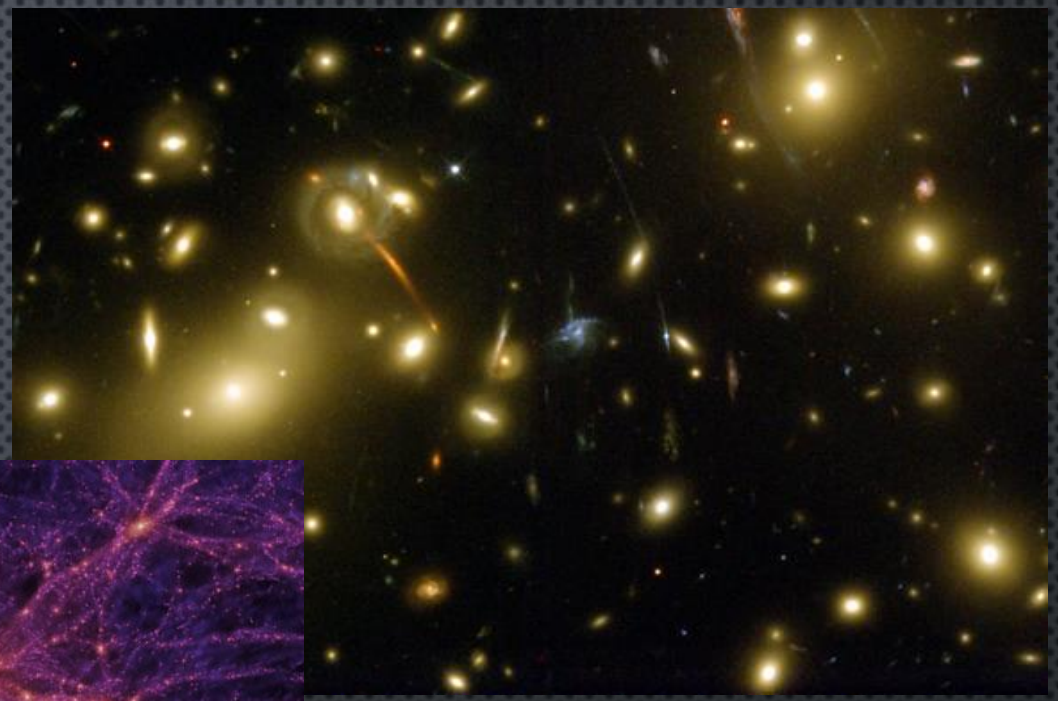
Решены все основные проблемы, связанные со свойствами Местной группы.

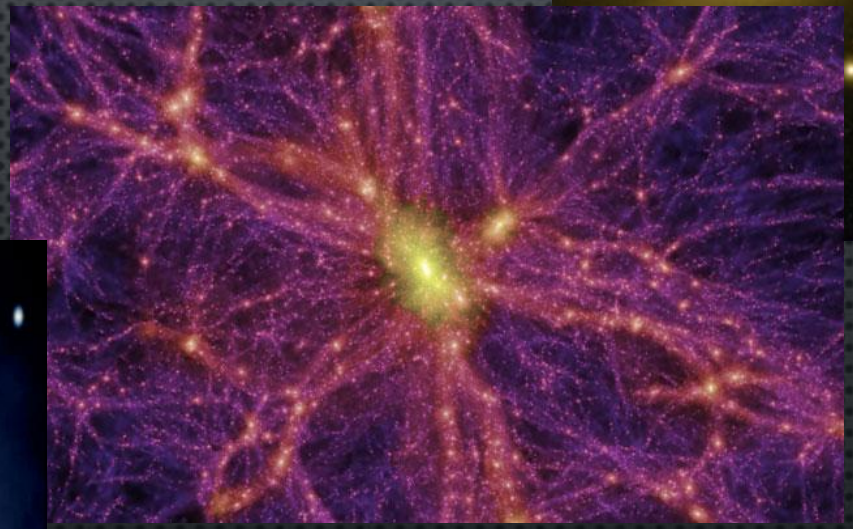
1412.2748

ФАКТЫ И НАДЕЖДЫ

Темная материя проявляется себя благодаря своей гравитации:

- в скоплениях галактик
- в отдельных галактиках
- в линзировании
- в росте структуры
- в полной плотности вселенной





Мы надеемся увидеть:

1. Прямое взаимодействие в лабораторных экспериментах;
2. Результаты аннигиляции
   - наблюдая гамма-излучение
   - наблюдая античастицы.

ВОПРОСЫ

1. Если бы темное вещество взаимодействовало с веществом и могло «застревать» в нем и накапливаться, но, разумеется, взаимодействовало бы гораздо слабее, чем обычное вещество само с собой, то как можно было бы обнаружить его присутствие?

2. Что происходило бы, если бы в недрах Солнца накапливалось все больше темного вещества?

3. Что произошло бы, если бы темное вещество быстро накапливалось бы в нейтронных звездах? А в белых карликах?

4. Давайте придумаем название для частиц темного вещества.

5. Что было бы, если бы темного вещества было в три раза больше?