

Космология - 1

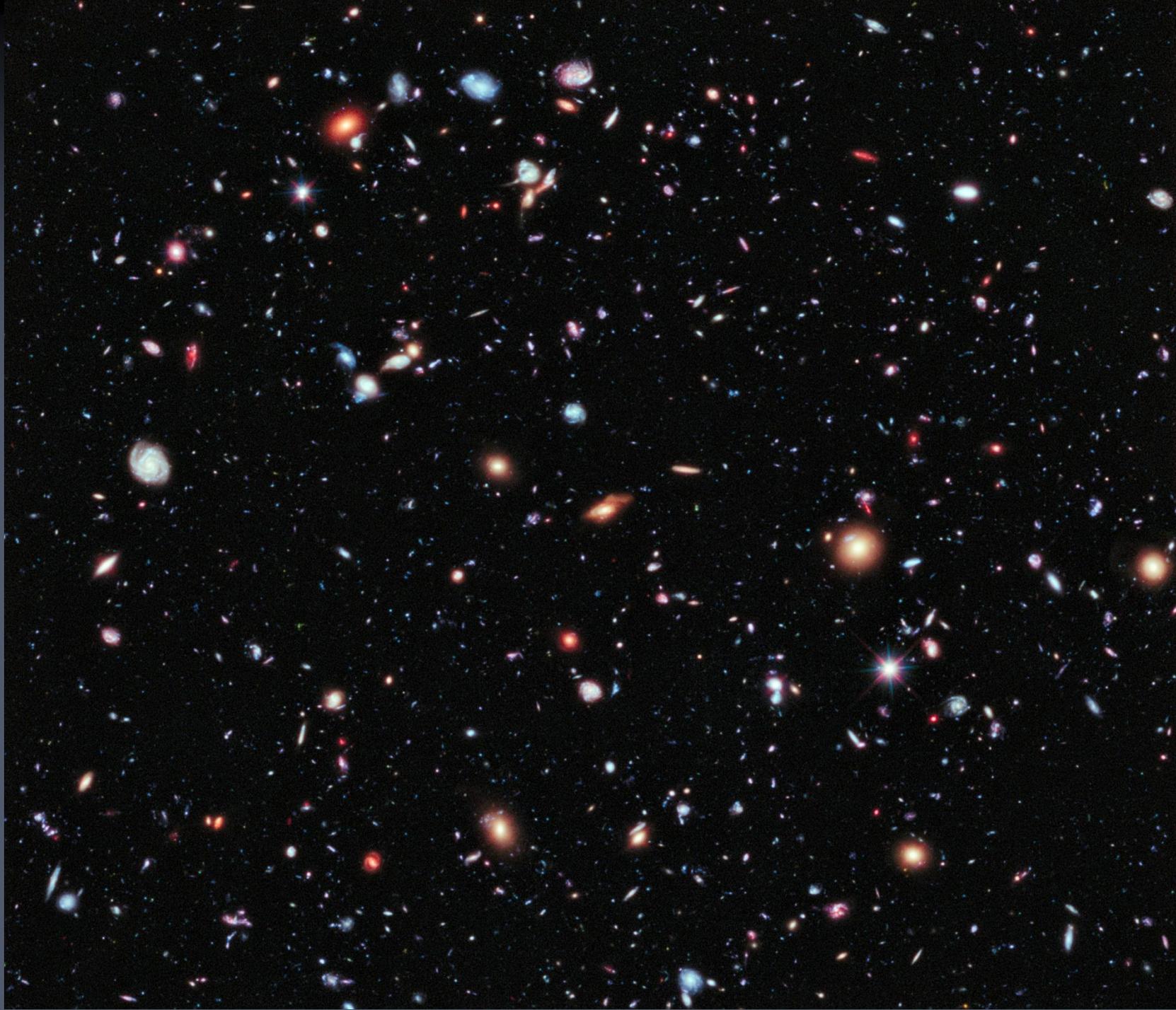
Сергей Попов
(ГАИШ МГУ)



Hubble Ultra Deep Field



Созвездие Печь
Наблюдения 2003-2004

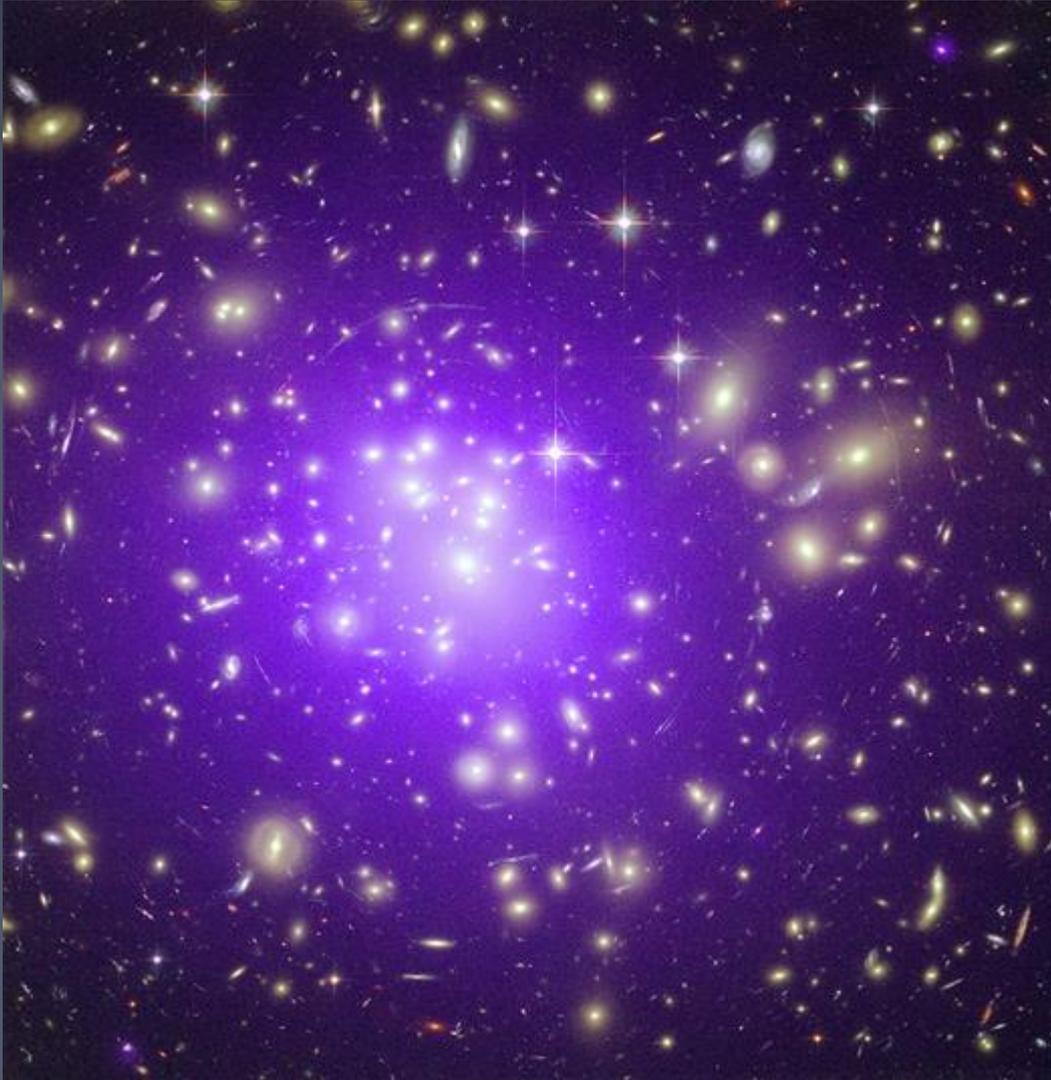


Формирование галактик



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

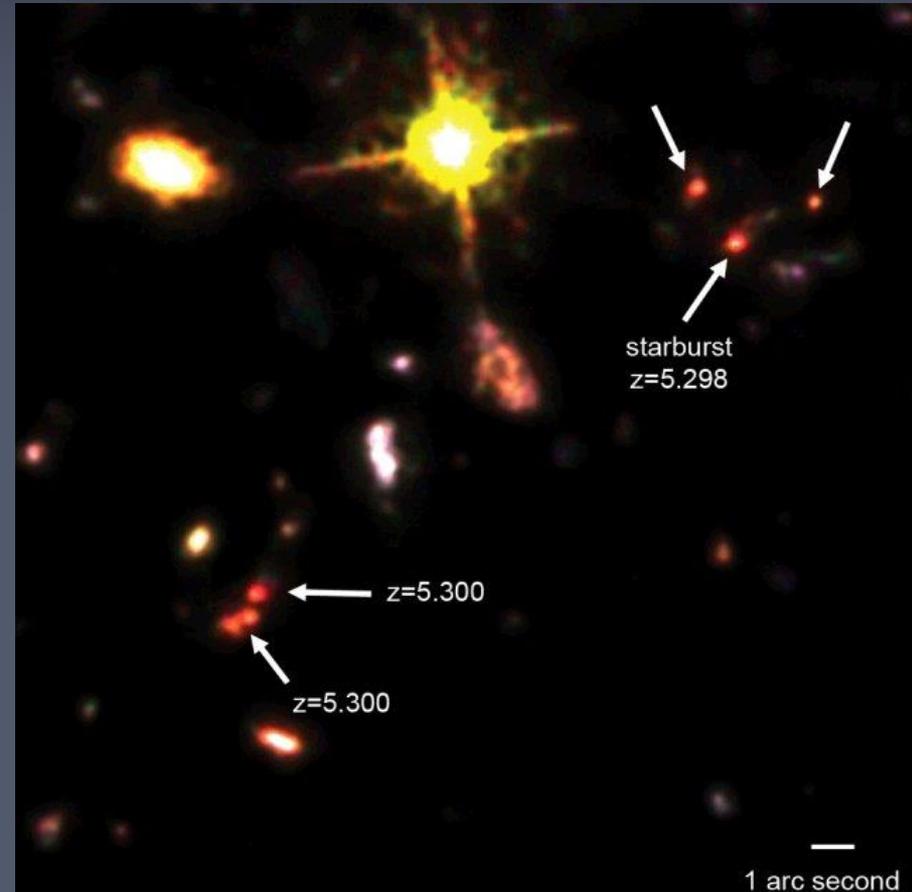
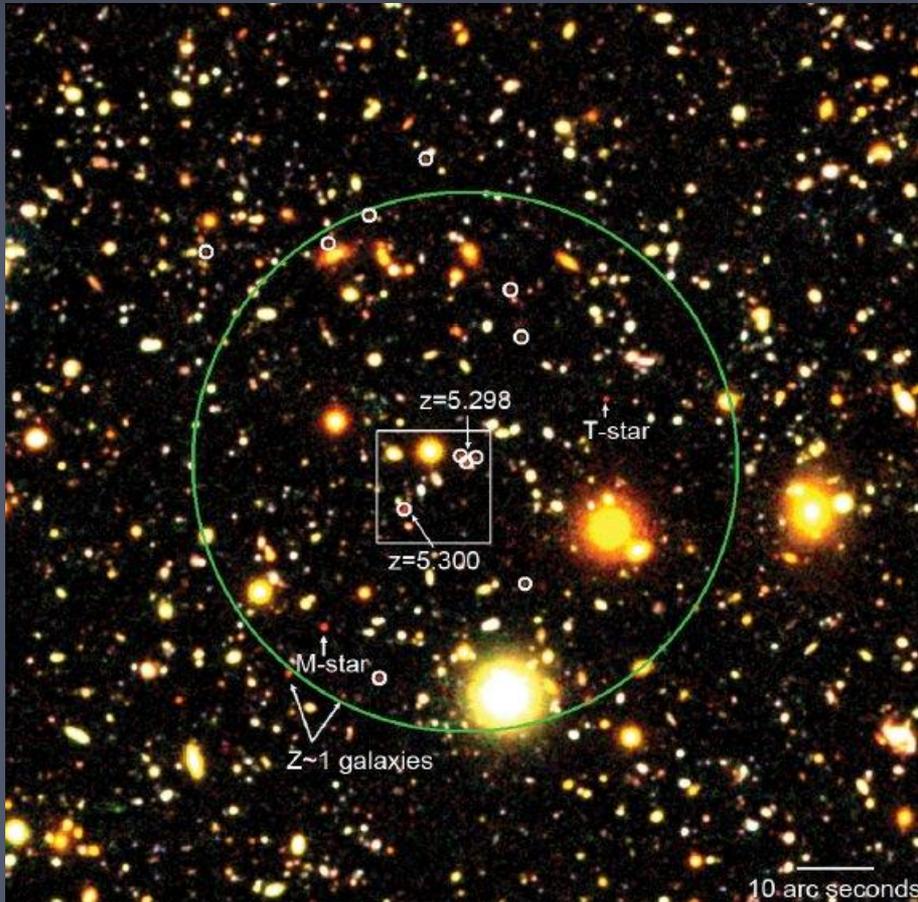
Формирование скоплений



Мы видим, что скопления
возникают постепенно.

На больших расстояниях
скопления еще не успели
сформироваться.

Дальнее протоскопление галактик

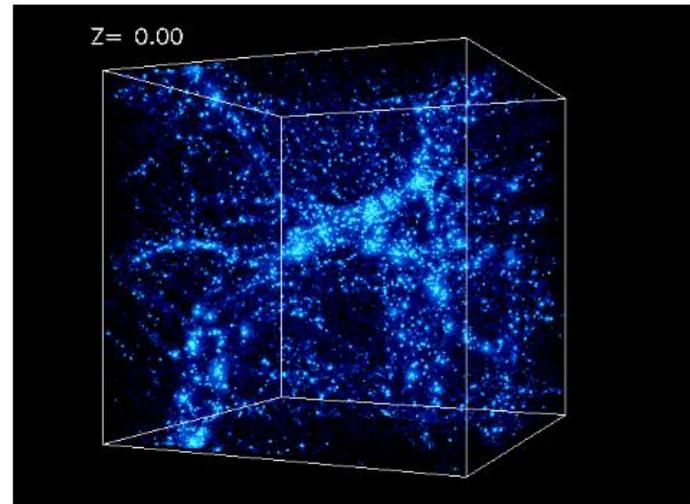
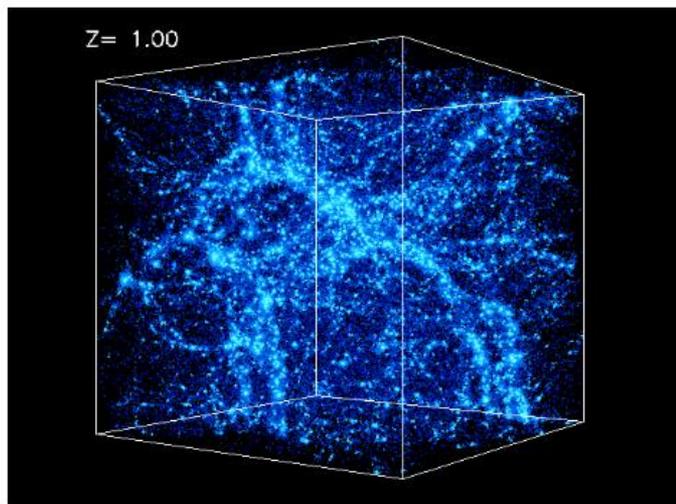
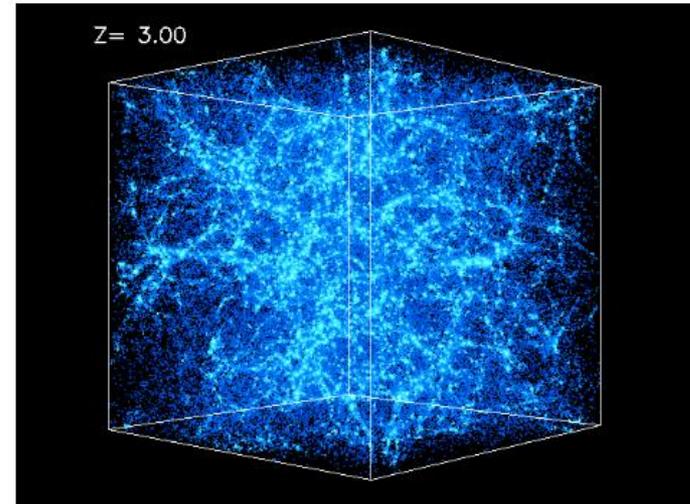
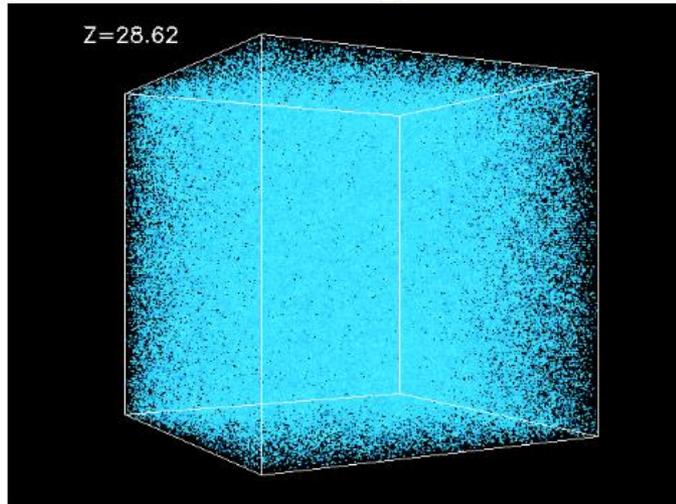


$Z=5.3$

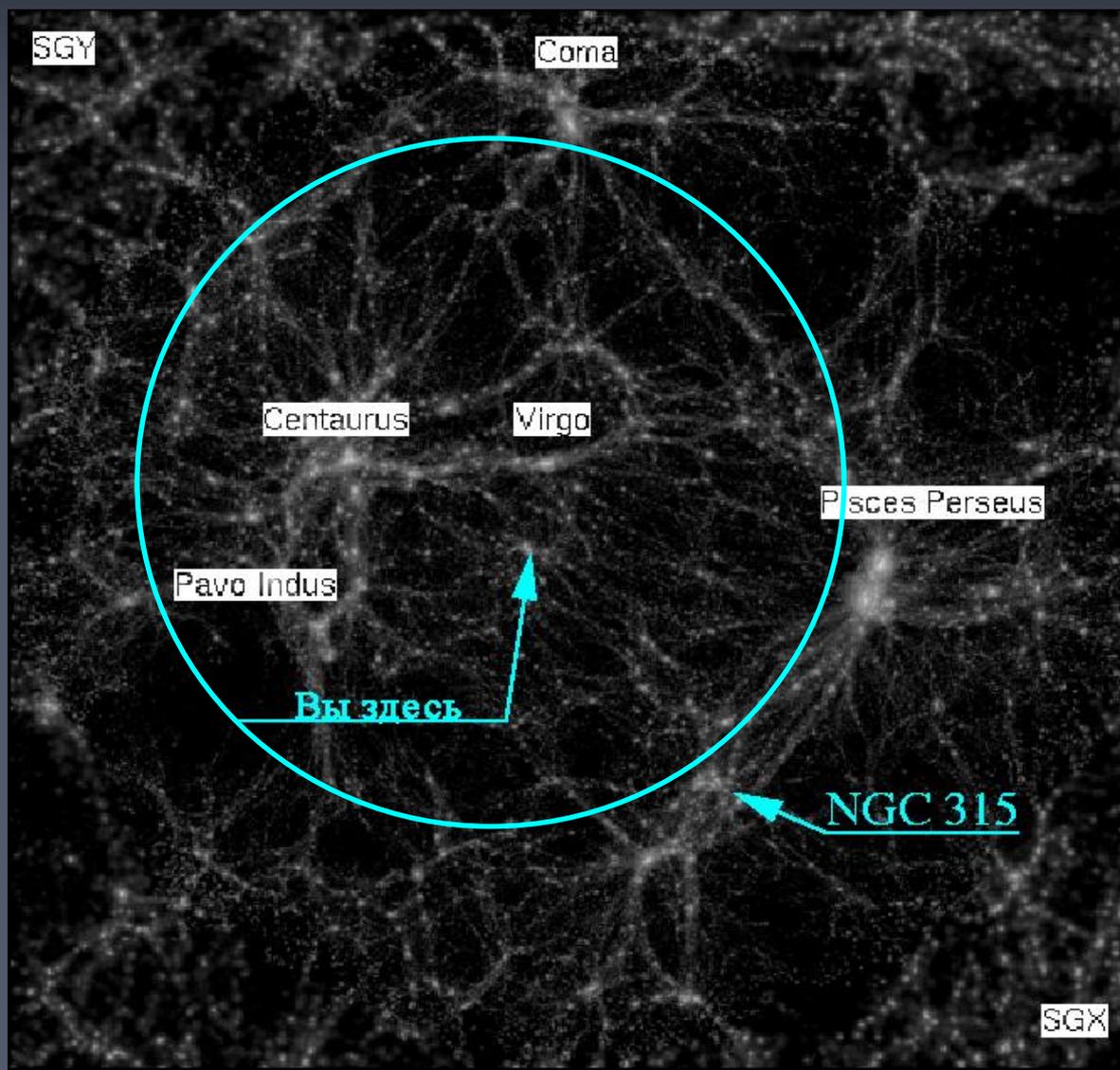
Формирование структуры

← 43 Mpc →

Λ CDM



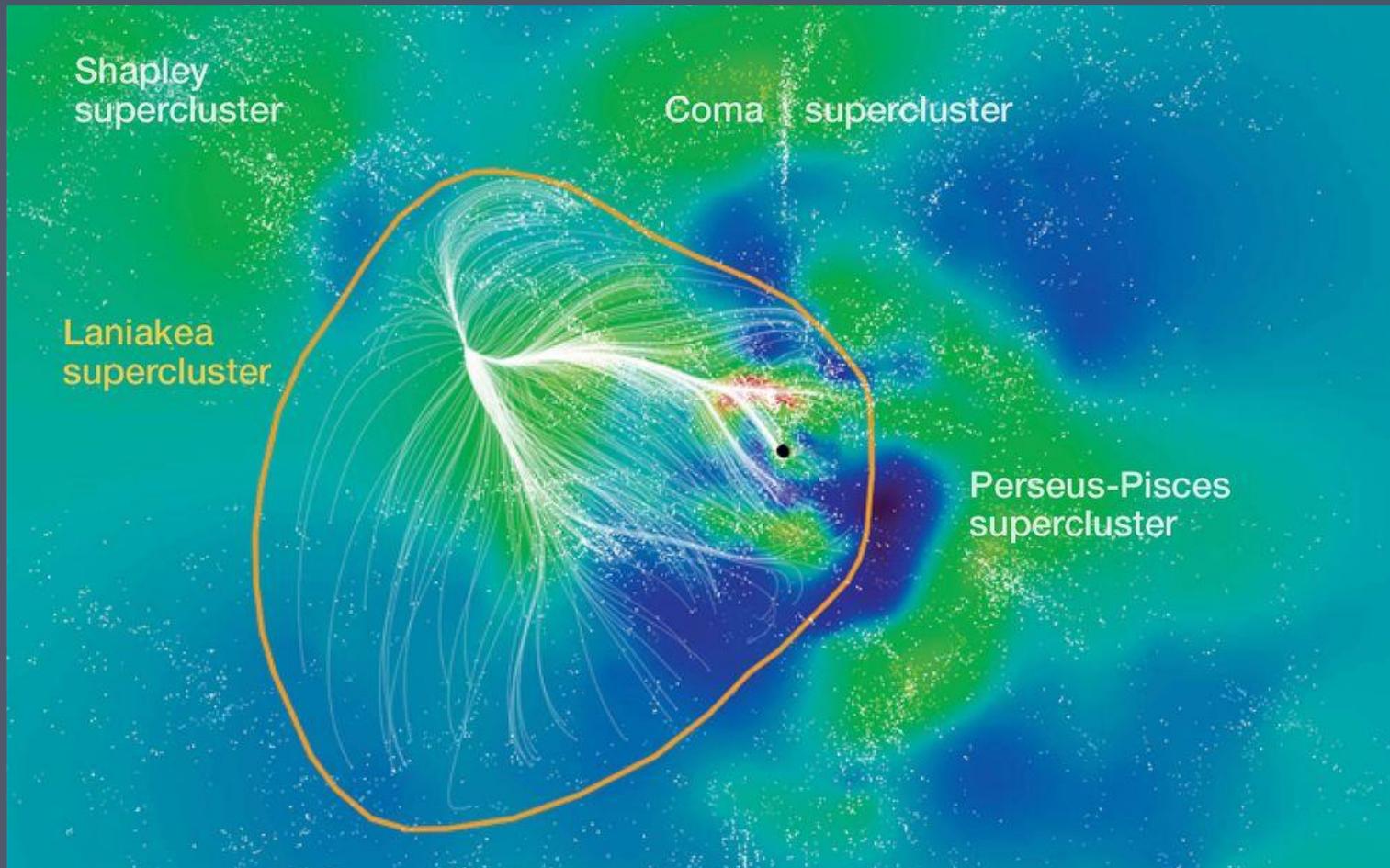
Наши «большие окрестности»



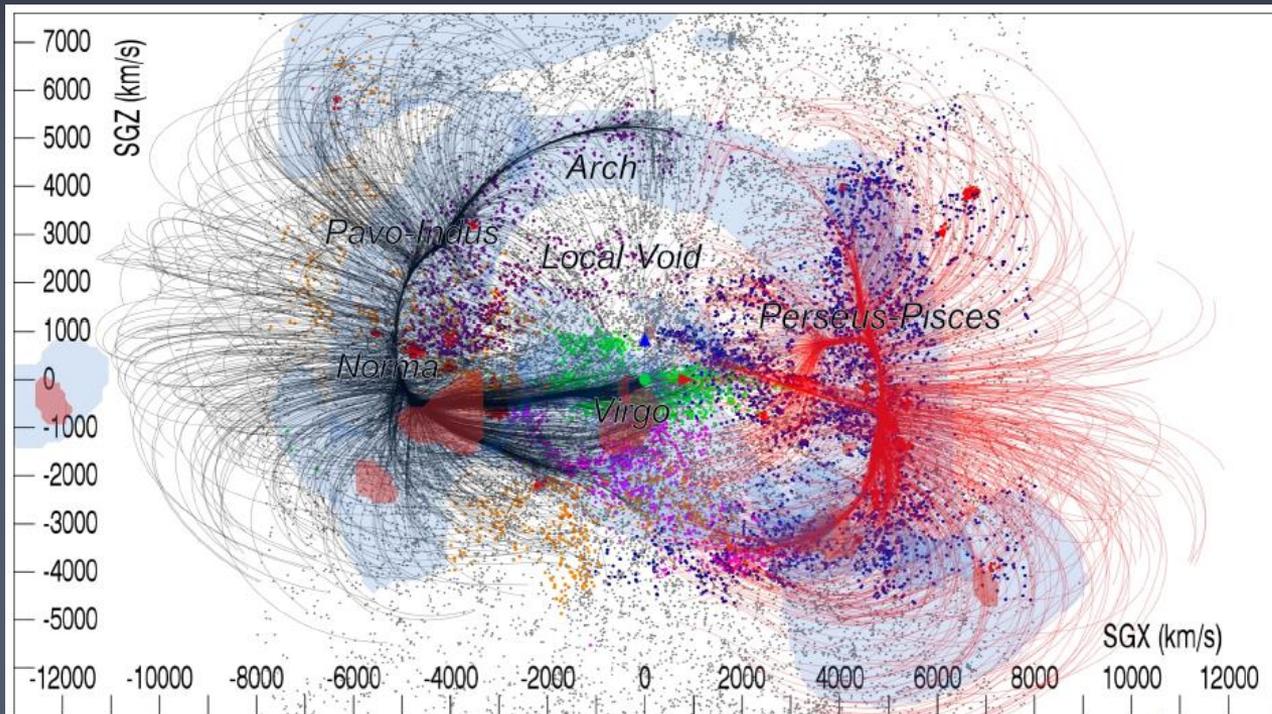
Ланиакеа

~100000 крупных галактик.

Полмиллиарда световых лет в поперечнике.



Структура потоков внутри 80 Мпк

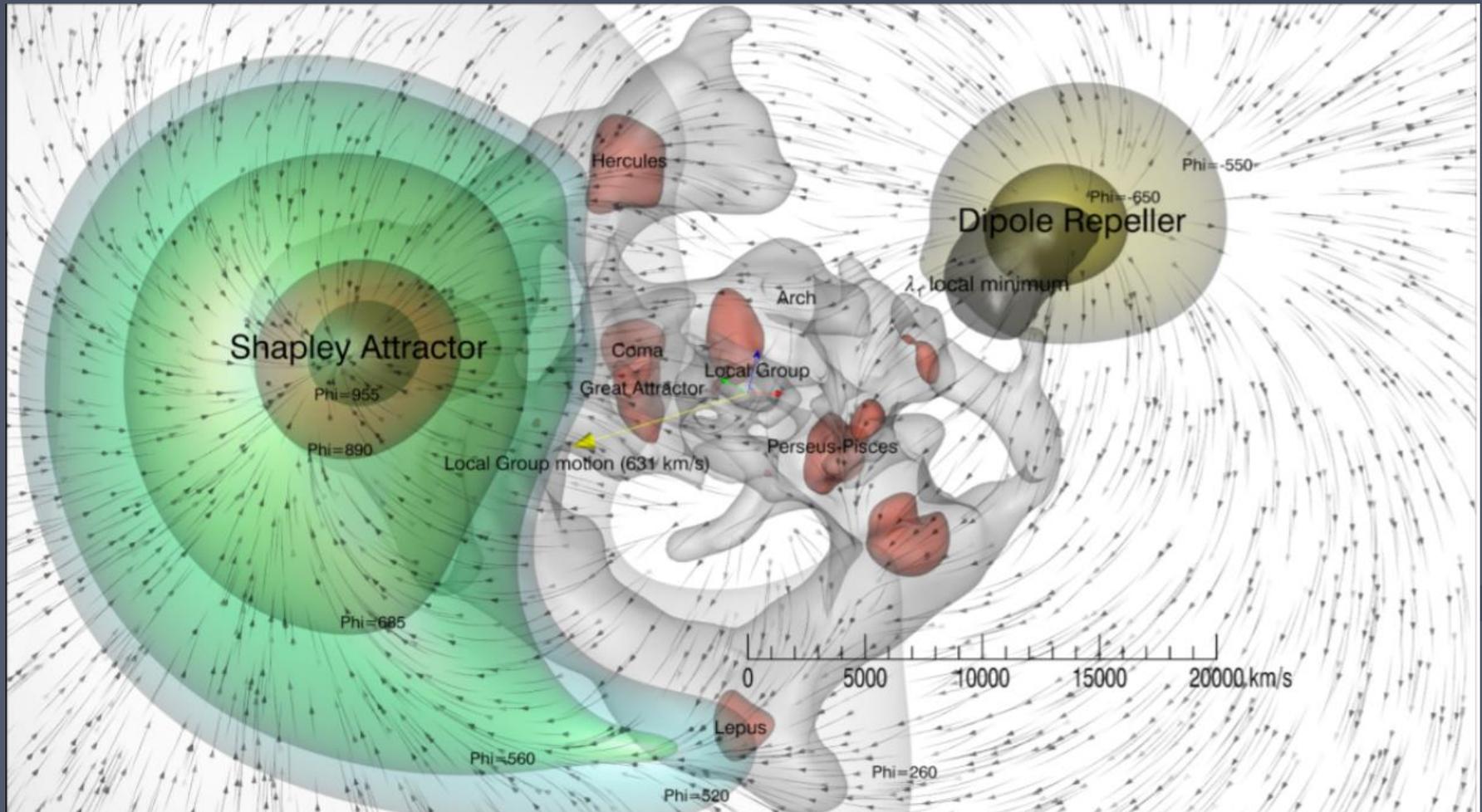


1409.0880

Теперь мы знаем, как образуется «наше»
сверхскопление галактик.



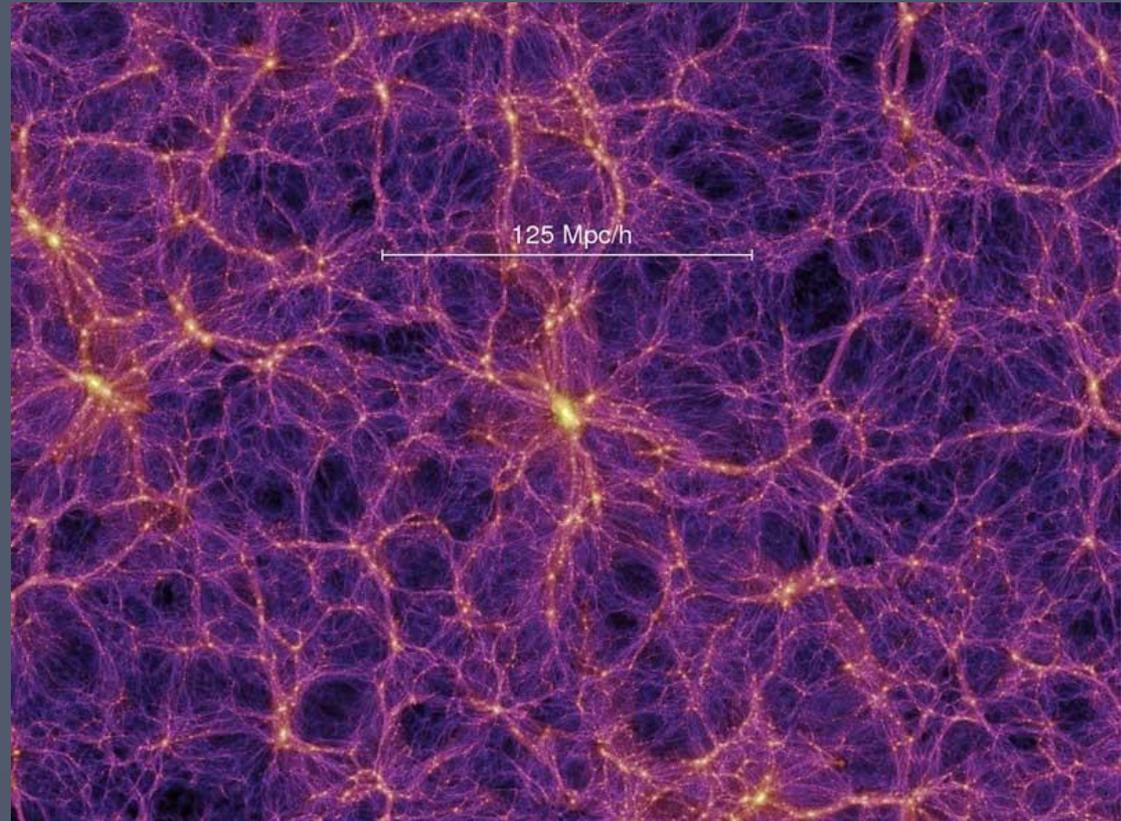
«ДИПОЛЬНЫЙ ОТТАКИВАТЕЛЬ»



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?

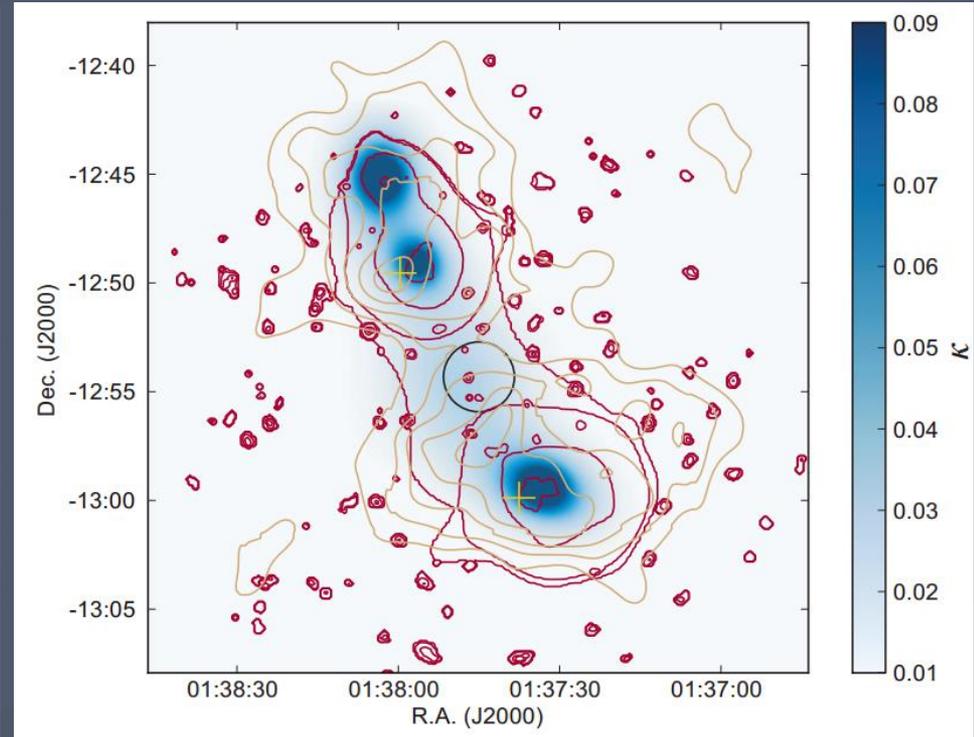
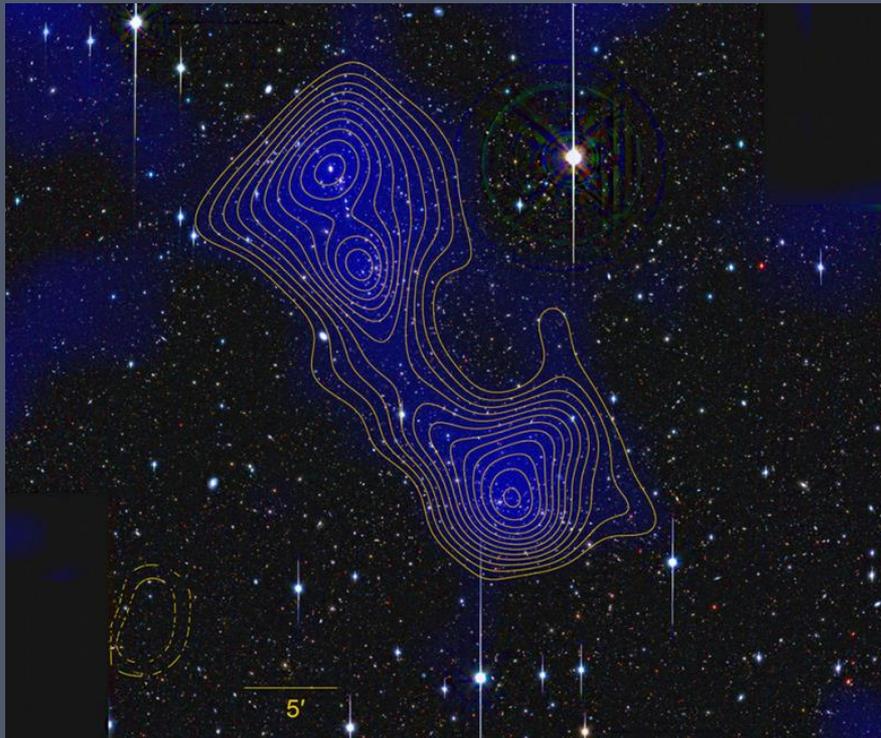


Волокно темного вещества

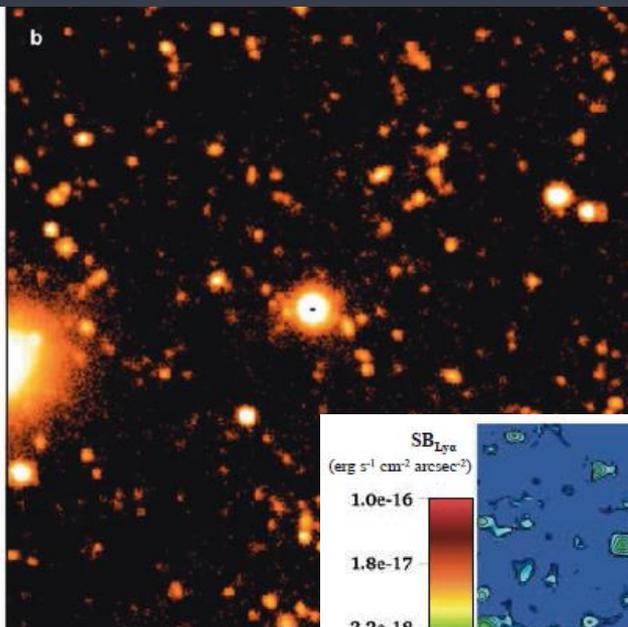
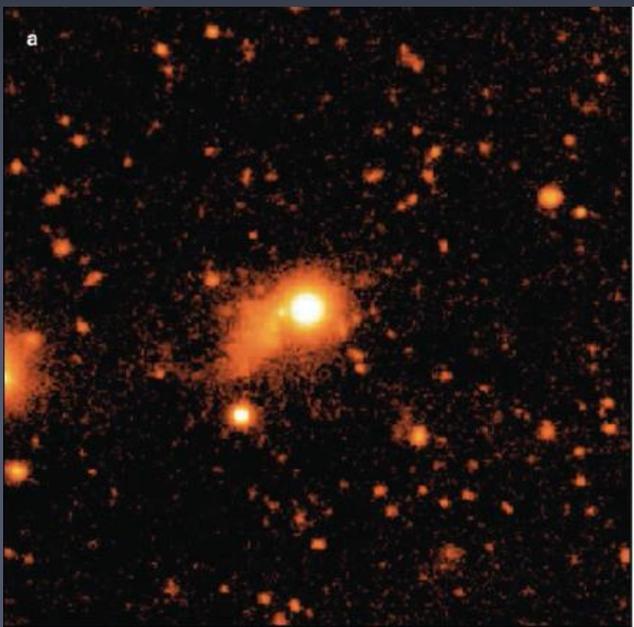
Скопления A222/223. $z \sim 0.2$ Между скоплениями 18 Мпк.

Распределение массы восстанавливается по линзированию.

Массы газа не хватает для объяснения массы волокна.

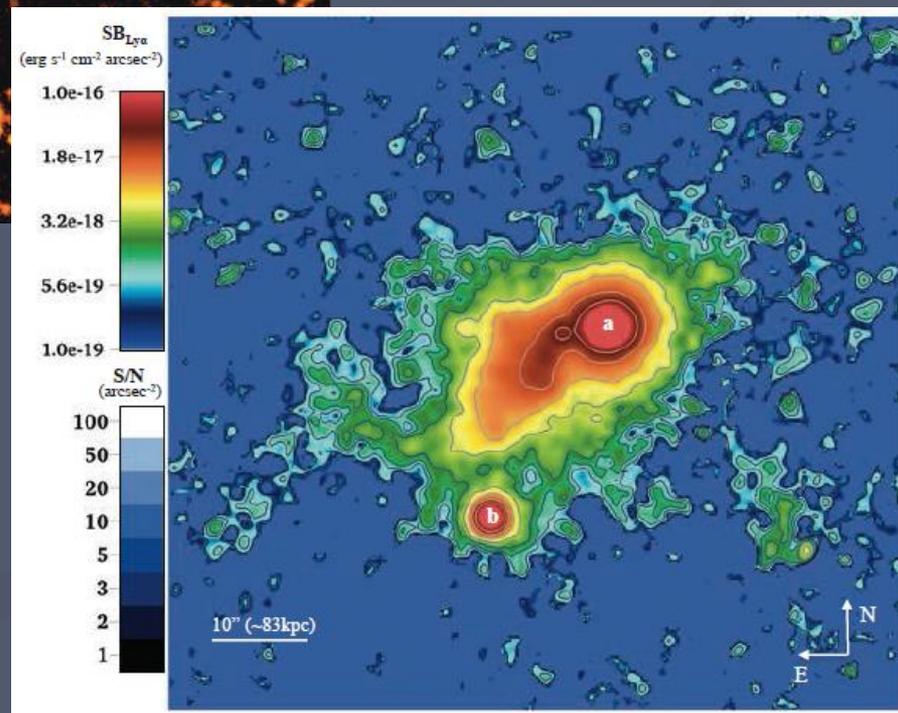


Волокно космической сети

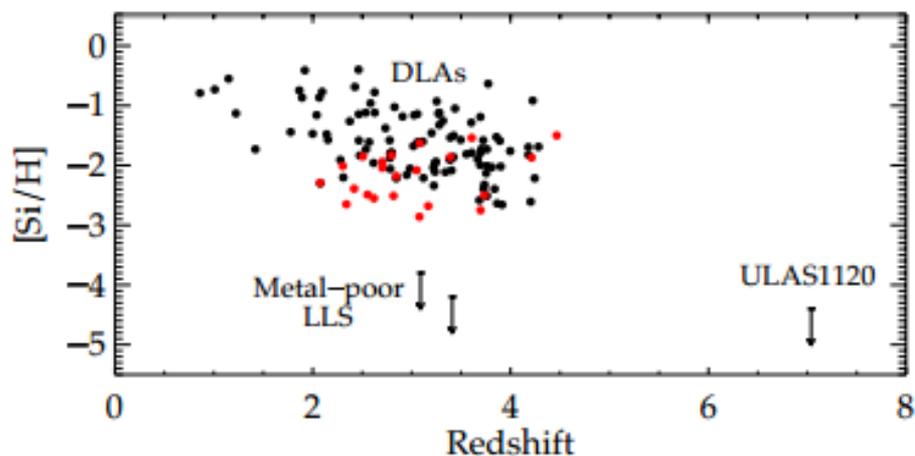
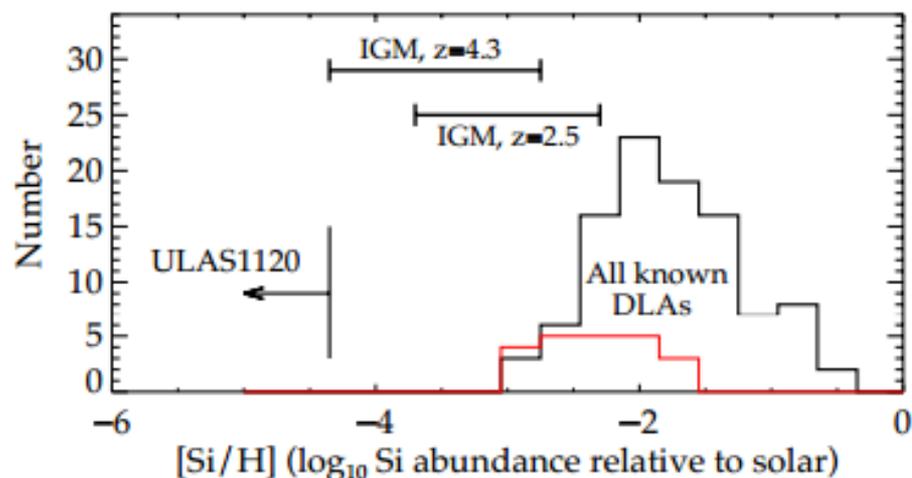


1401.4469

Около квазара на $z \sim 2.3$
в линии лайман-альфа
обнаружено газовое волокно
протяженностью более млн. св. лет



Очень малометаллический газ на $z=7$



772 млн лет после Большого Взрыва.

Т.о., мы видим, что меняется химический состав вселенной.

В итоге, вся вселенная предстает эволюционирующей

Глядя в прошлое

- По эффекту Сюняева-Зельдовича
- По возбуждению линий

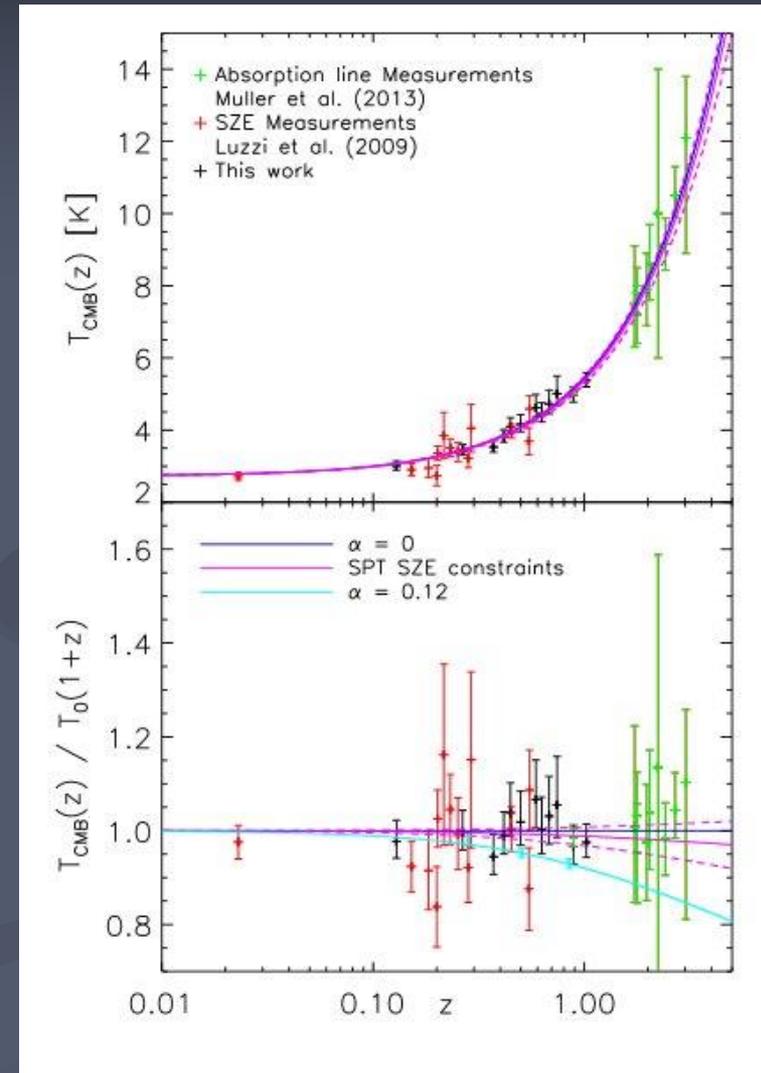
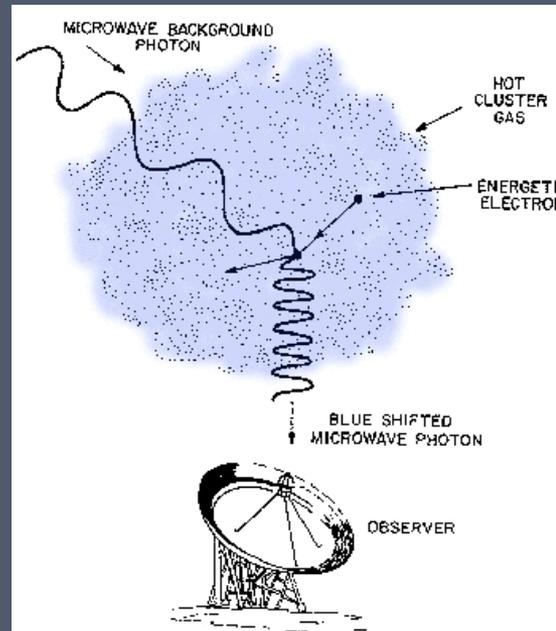


Измерение температуры реликта на разных красных смещениях

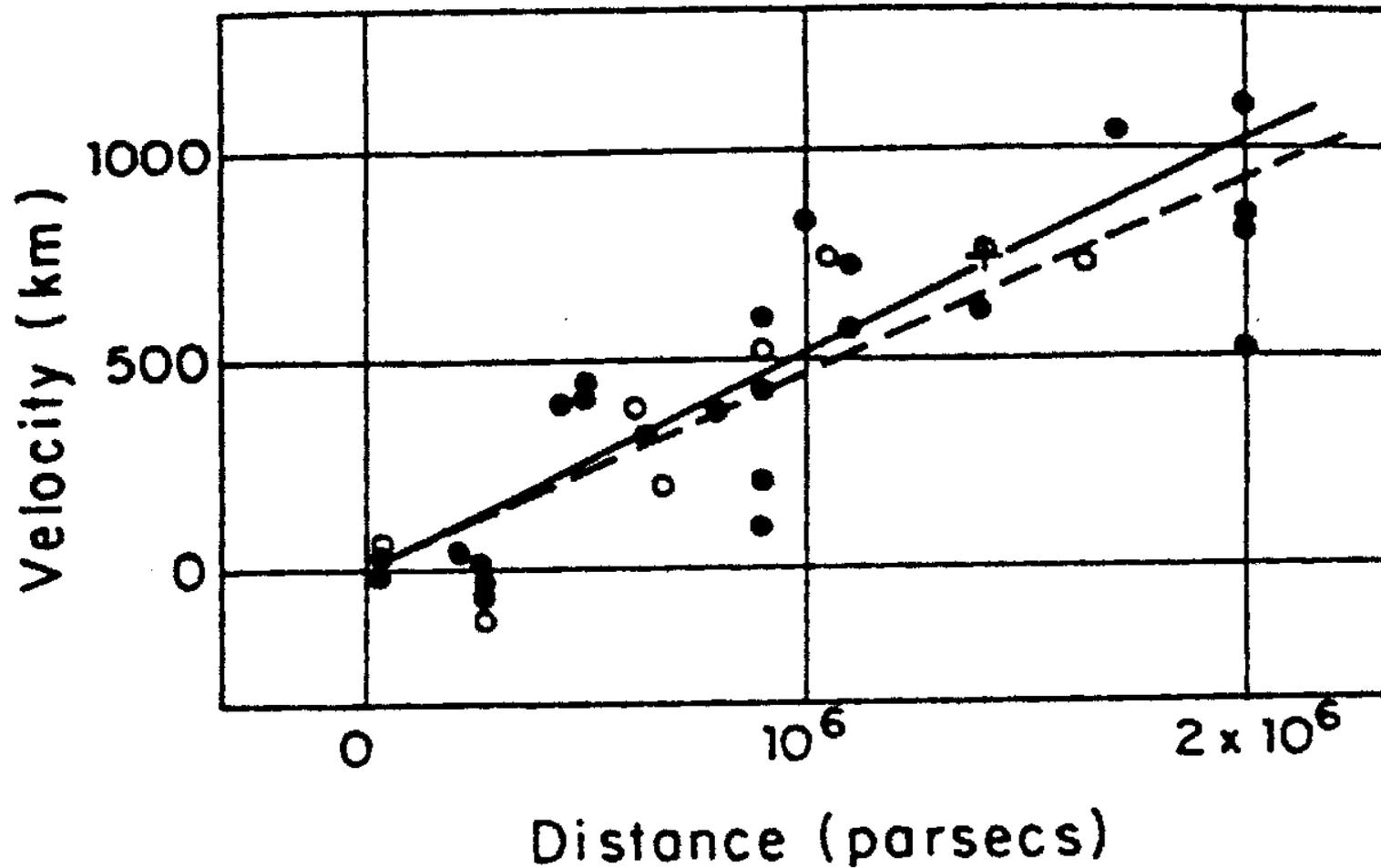
Как остывает реликт?

На South Pole Telescope авторы исследовали 158 скоплений галактик на $z=0.05-1.35$

Благодаря наблюдениям на разных частотах по эффекту Сюняева-Зельдовича удалось определить эволюцию температуры реликтового излучения.

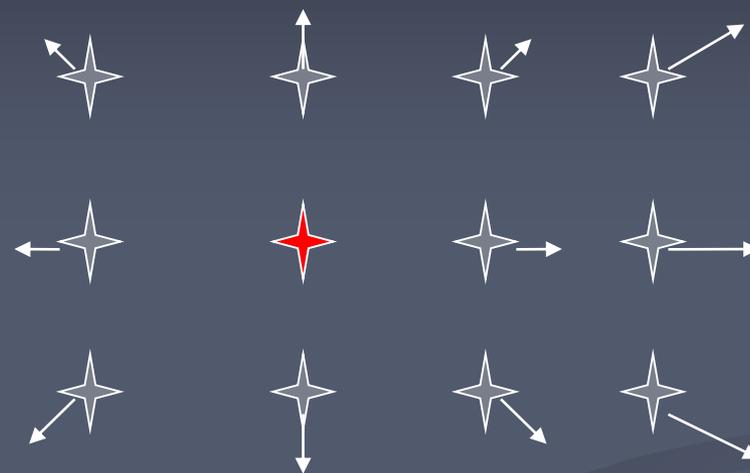


Расширение вселенной

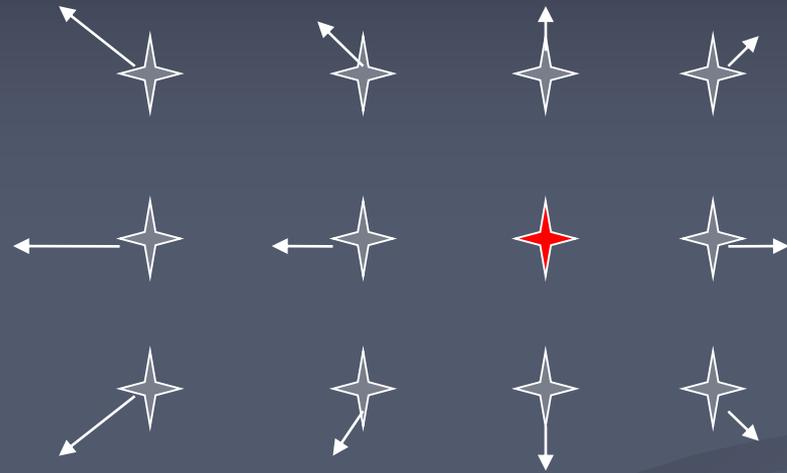


Хаббл 1929 г.

Как это работает?



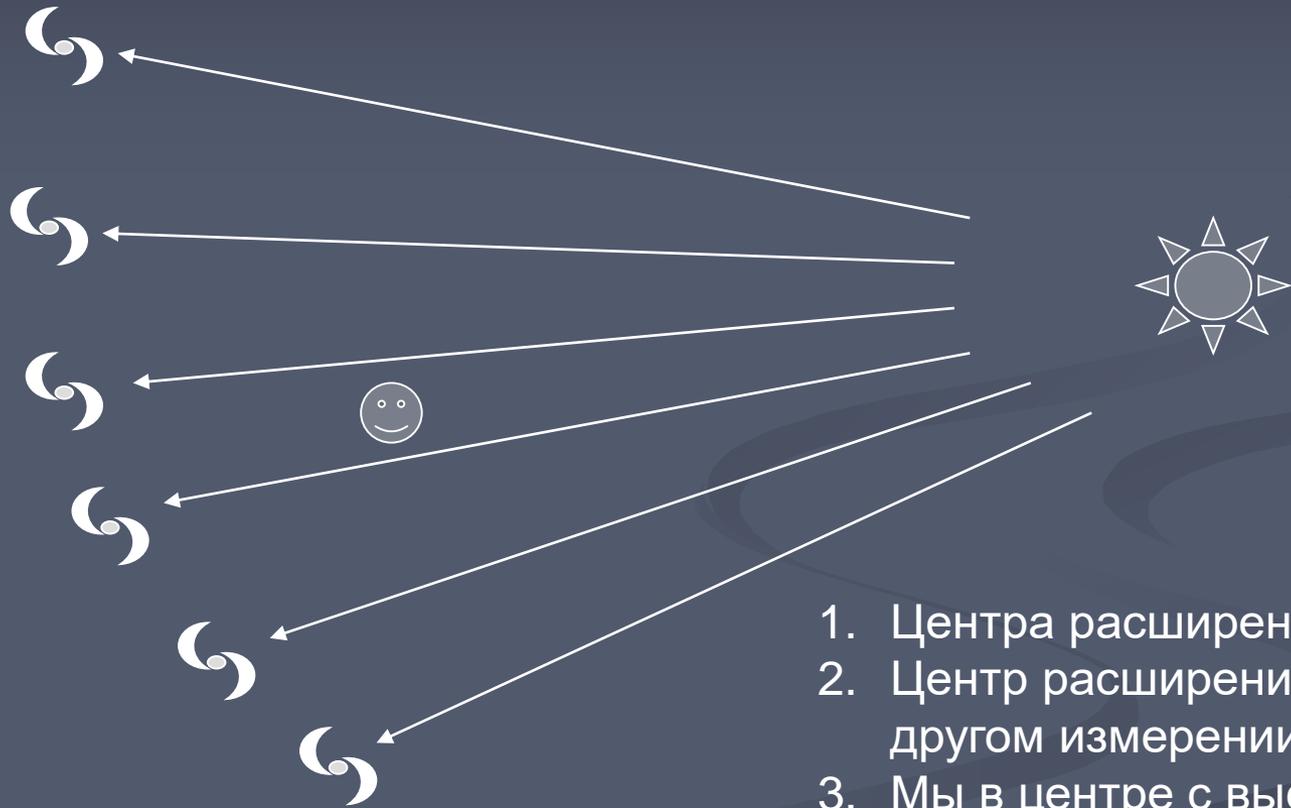
Как это работает?



Чем дальше галактика – тем быстрее она удаляется.
Центра расширения нет. Если мы перелетим в другое место,
то картина расширения не изменится.



Где центр расширения?



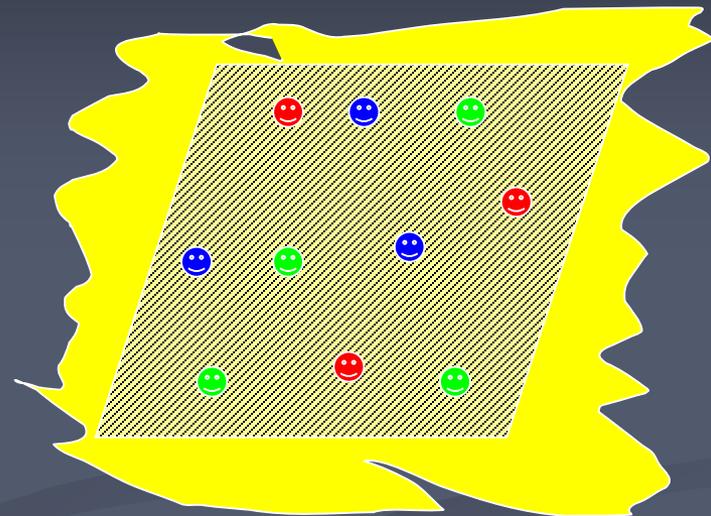
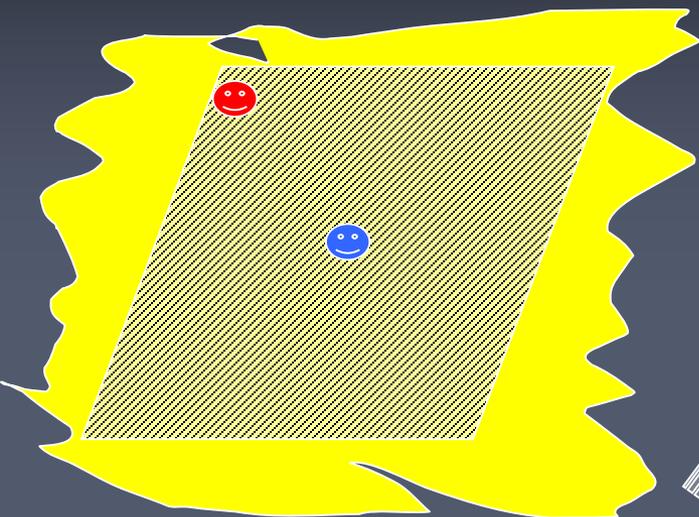
1. Центра расширения нет
2. Центр расширения в другом измерении
3. Мы в центре с высокой точностью (но это было бы крайне трудно объяснить).

Область наблюдения

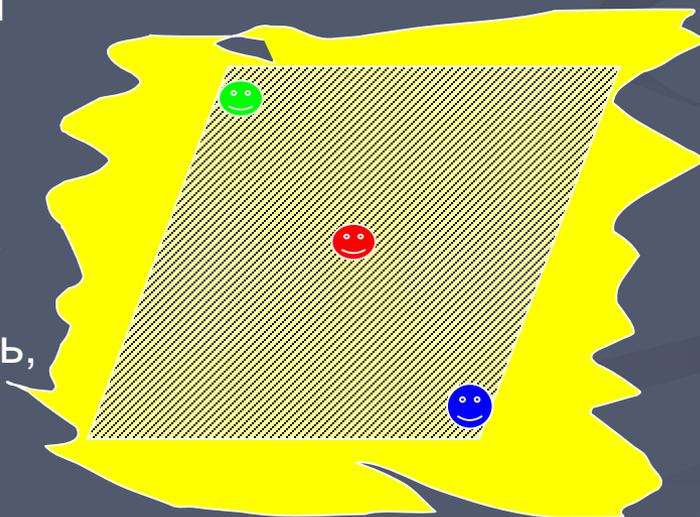


Для наблюдений нам доступна конечная область пространства, но вселенная там не заканчивается.

Конечна ли вселенная?

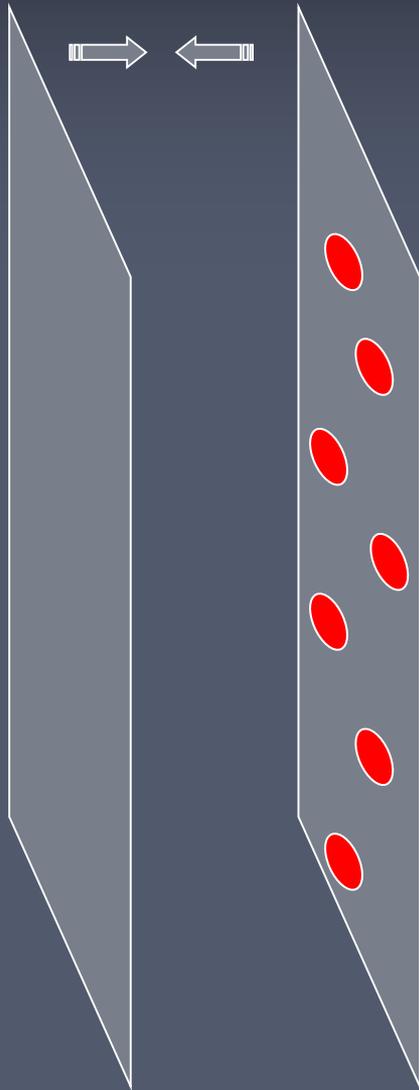


Нам для наблюдений доступна лишь конечная область. Но мы видим, что в далеких галактиках все примерно также, т.е., мы можем думать, что оттуда видна такая же картина. Да и почему нет?



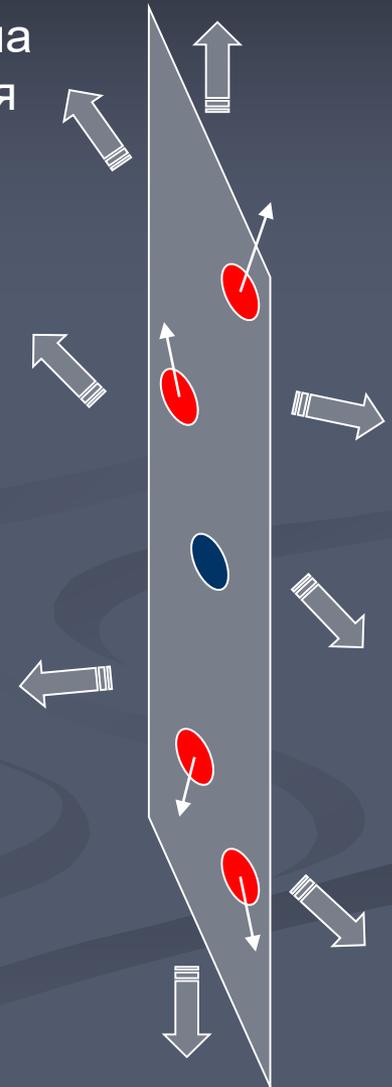
Мы не можем сказать, насколько вселенная больше той области, которую мы можем сейчас наблюдать.

Простая иллюстрация



Эта сильно упрощенная картина помогает понять, что вселенная может быть безграничной и при этом расширяющейся

Важно, что уже в «момент ноль» вселенная может иметь конечный размер или даже сразу быть бесконечной.



Особенности в космологии

