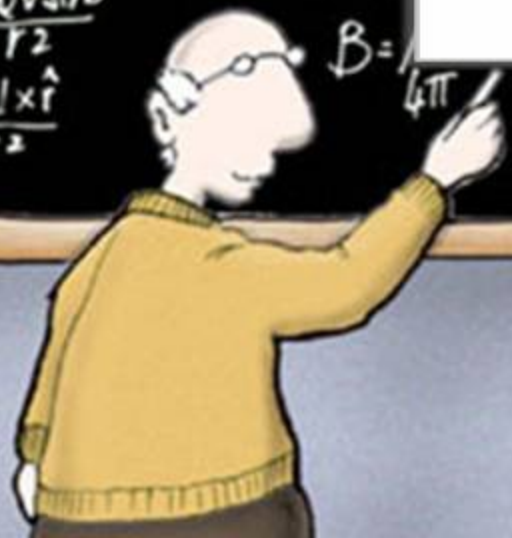


ЧТО ТАКОЕ БОЛЬШОЙ ВЗРЫВ

Доктор физ-мат.наук
профессор
Засов Анатолий Владимирович

А теперь я это изложу
простыми словами



Семь часто задаваемых вопросов.

1. Почему все галактики удаляются от нас? Мы что, в центре?
2. Если Вселенная расширяется, то из какой точки началось расширение?
3. Что собственно расширяется? Расширяются ли галактики? Звезды? Атомы?
4. Если по закону Хаббла скорости растут с расстоянием, то как быть с предельной скоростью света? Или что находится дальше тех галактик, у которых околосветовая скорость?
5. Что существовало в расширяющейся вселенной до того, как появились первые звезды и галактики?
6. Что было до начала расширения?
7. А может, Вселенная вообще не расширяется, и есть другие объяснения красному смещению?



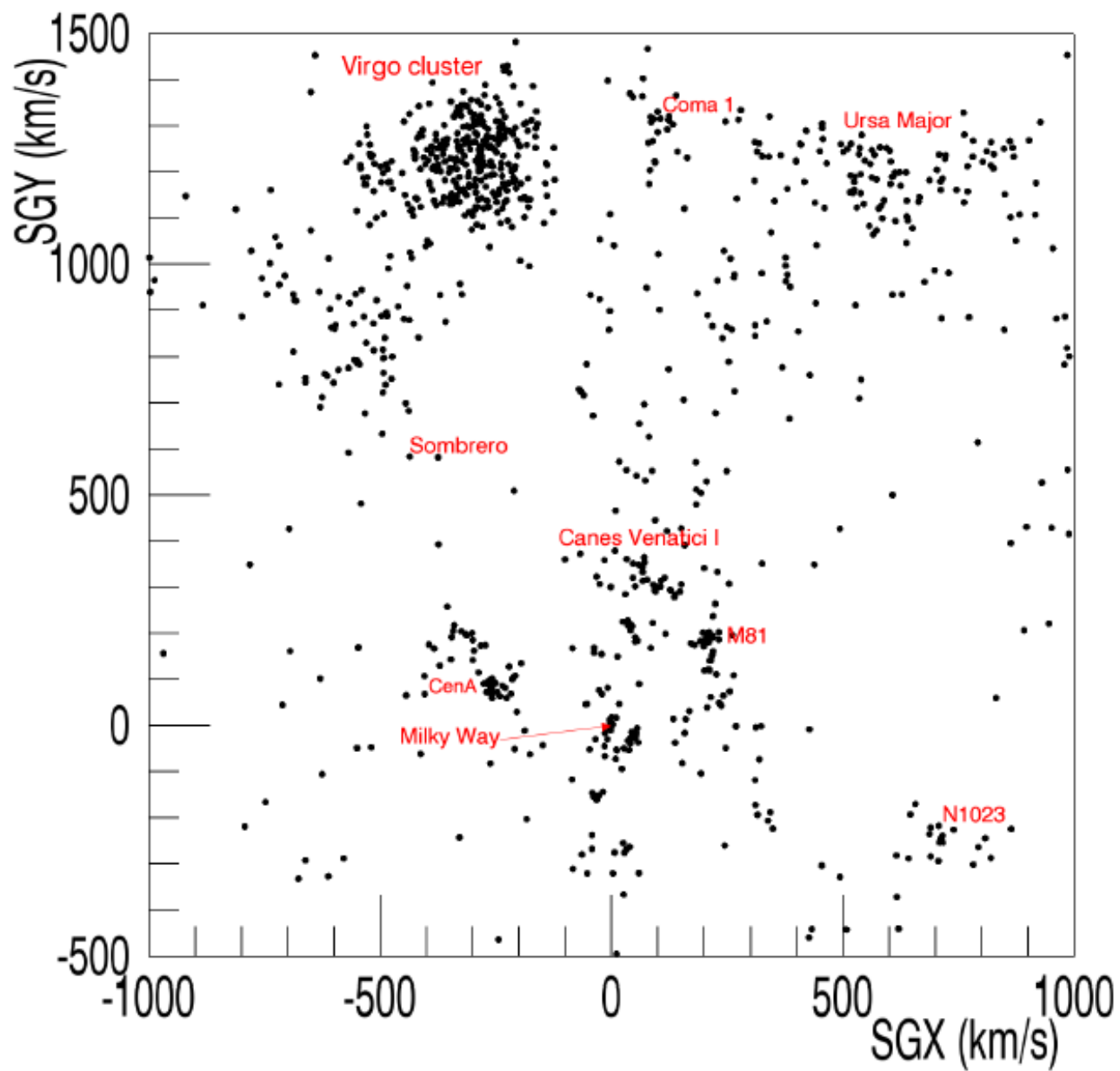
Галактики как самостоятельные звездные острова

Э. Хаббл



Эрнст Эпик

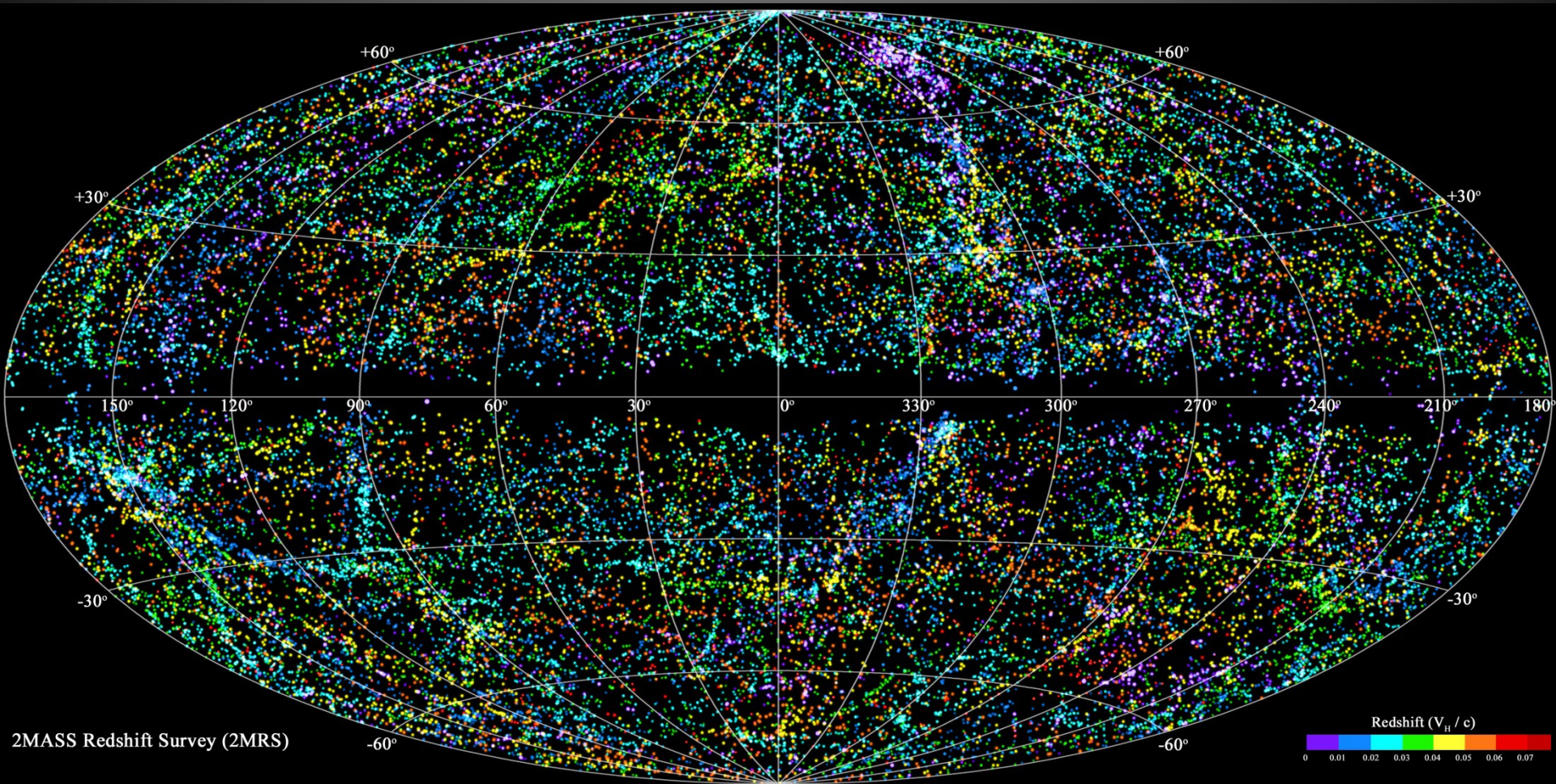




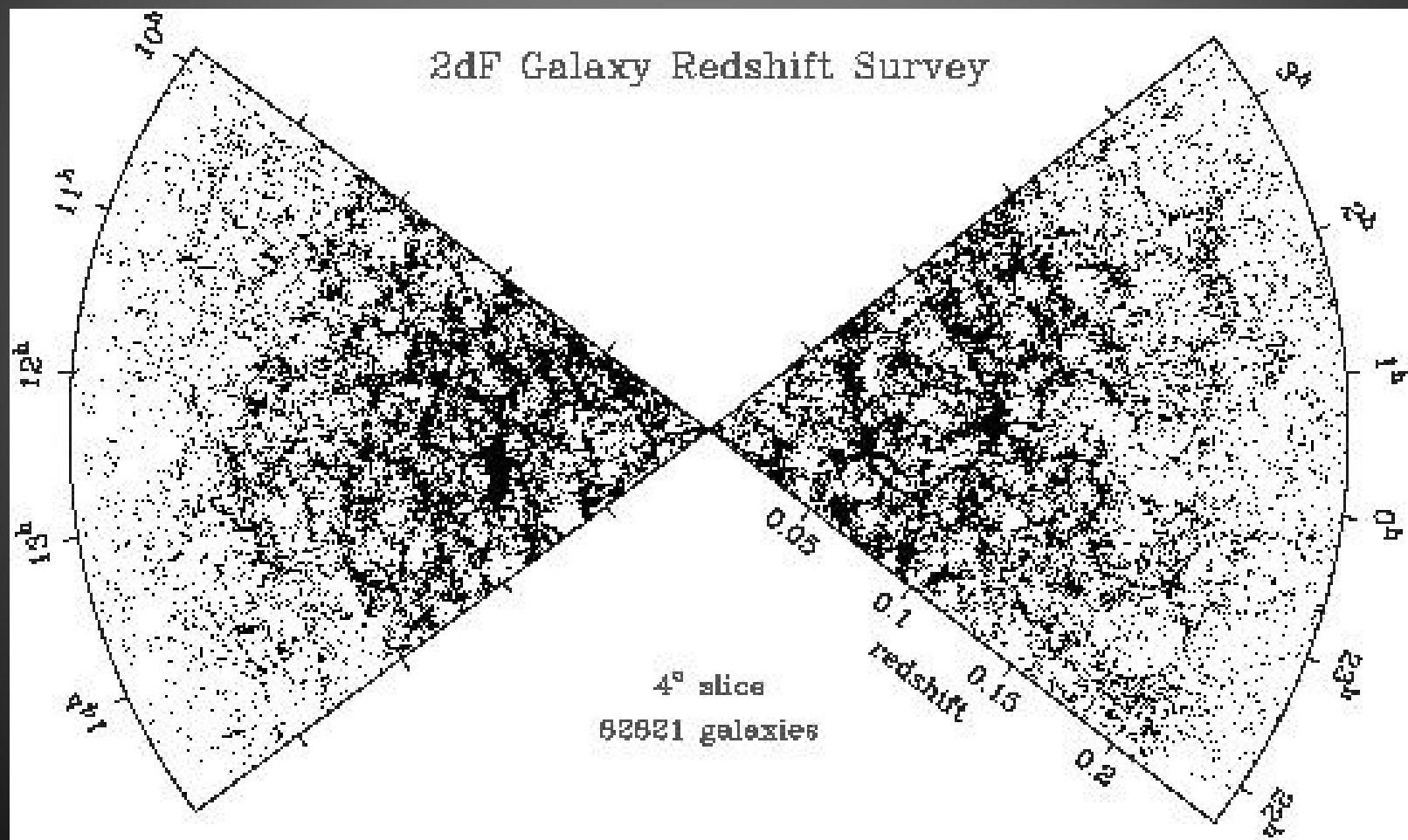
Структура Вселенной:

- Элементарные частицы- атомы — звезды — скопления звезд --галактики -- скопления галактик — сверхскопления галактик... что дальше?
- Самые большие гравитационно связанные образования — это скопления галактик





Крупномасштабная структура в распределении галактик до расстояния 1000 мегапарсек



- Максимальный размер неоднородностей в распределении галактик и их скоплений: 100-300 Мпк
- *1 Мпк – примерно 3 млн свет. лет.*

Космологический принцип

- Большинство космологических моделей исходит из того, что во Вселенной нет особо выделенных центров или направлений, если рассматривать достаточно большие масштабы.
- Поэтому состояние Вселенной можно характеризовать средним значением плотности материи или энергии.

Начало современной космологии

- Создание общей теории относительности (А.Эйнштейн)
- Предсказание нестационарности Вселенной и построение ее математических моделей (А.Фридман)
- Измерение лучевых скоростей галактик (Слайфер) и открытие разбегания галактик (Э.Хаббл)

Александр
Александрович
Фридман
(1888-1925)

Математик,

Физик

Метеоролог

Авиатор

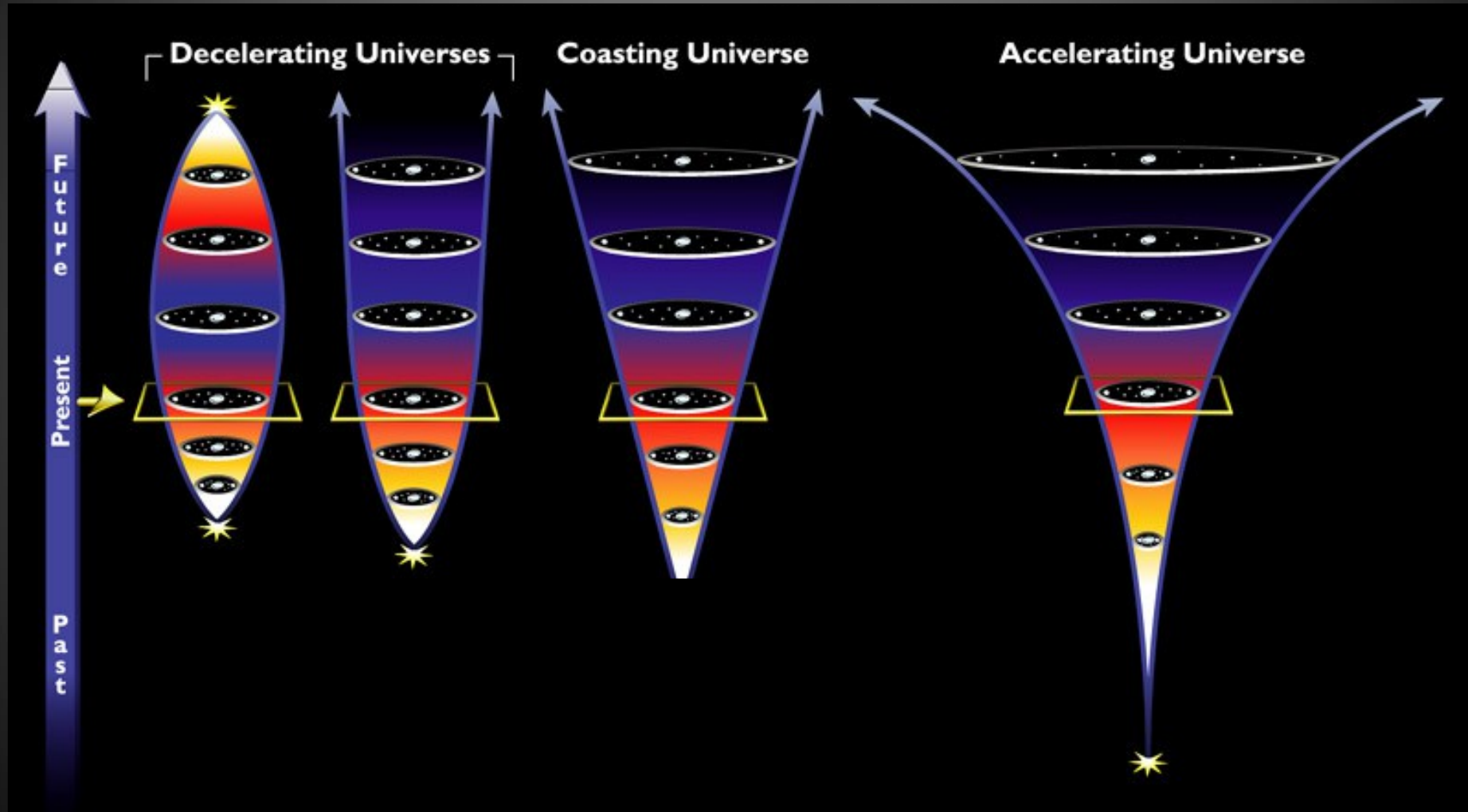
(летчик, инструктор)

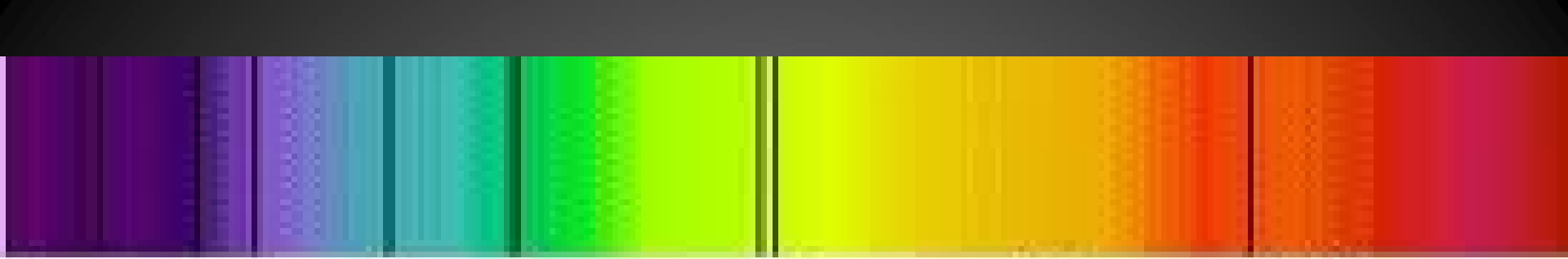


Фридман:

- «Уравнения Эйнштейна имеют решения, которые описывают непрерывное изменение плотности Вселенной. Это означает, что Вселенная как целое нестационарна и непрерывно изменяется».

Возможные модели расширения (Фридмановские модели)



A horizontal spectrum showing a continuous rainbow background with dark absorption lines. The lines are shifted towards the blue/violet end of the spectrum, indicating a blue shift.

Звезда приближается

A horizontal spectrum showing a continuous rainbow background with dark absorption lines. The lines are in their standard positions, indicating no relative motion.

Звезда покоится

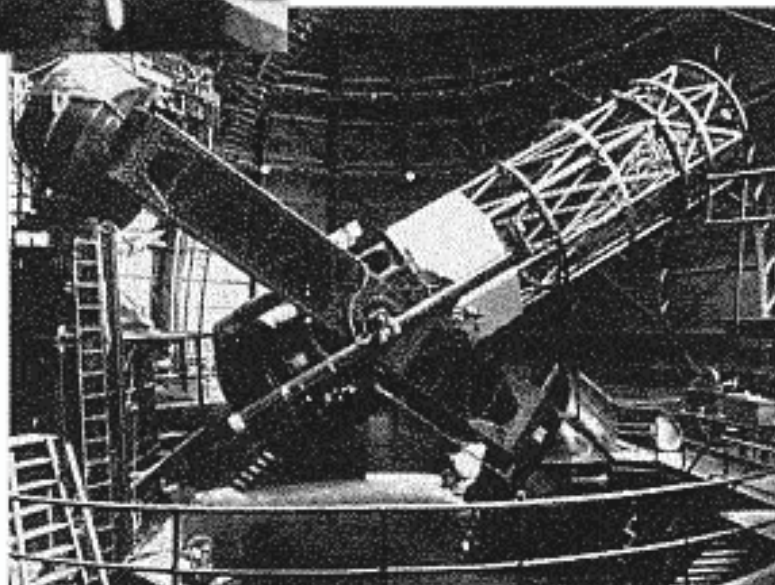
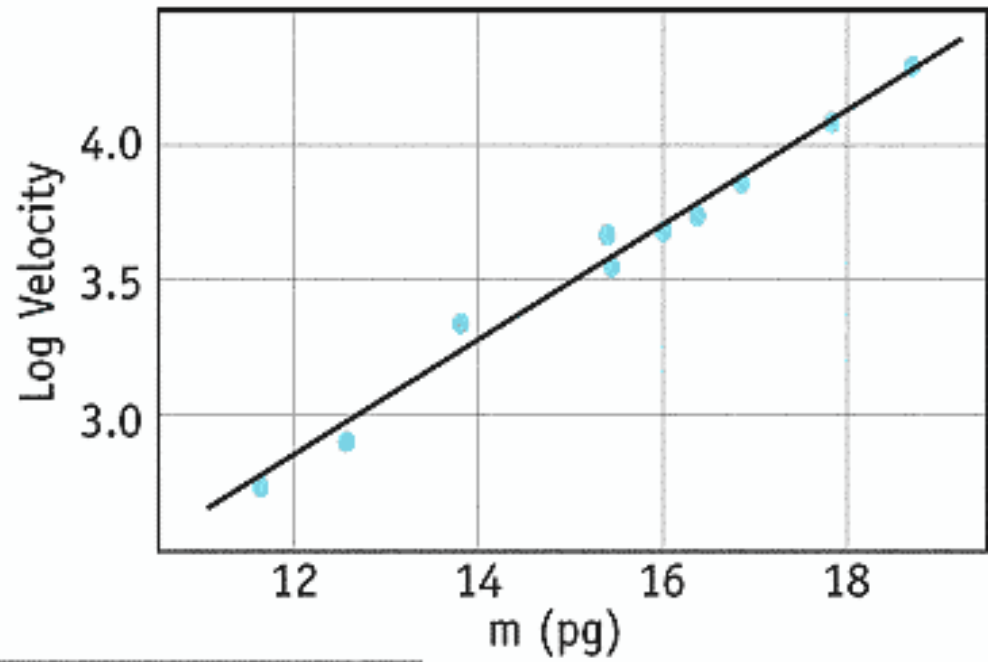
A horizontal spectrum showing a continuous rainbow background with dark absorption lines. The lines are shifted towards the red end of the spectrum, indicating a red shift.

Звезда удаляется.

- КРАСНЫМ СМЕЩЕНИЕМ Z НАЗЫВАЮТ ОТНОСИТЕЛЬНОЕ ИЗМЕНЕНИЕ ДЛИНЫ ВОЛНЫ
- $Z = \Delta\lambda/\lambda$
- $Z=0.01$ означает возрастание длин волн на 1%,
- $Z=0.1$ – на 10%
- $Z = 1$ – на 100%, то есть вдвое.
- $1+Z$ - это множитель, на который возросли длины волн любого излучения



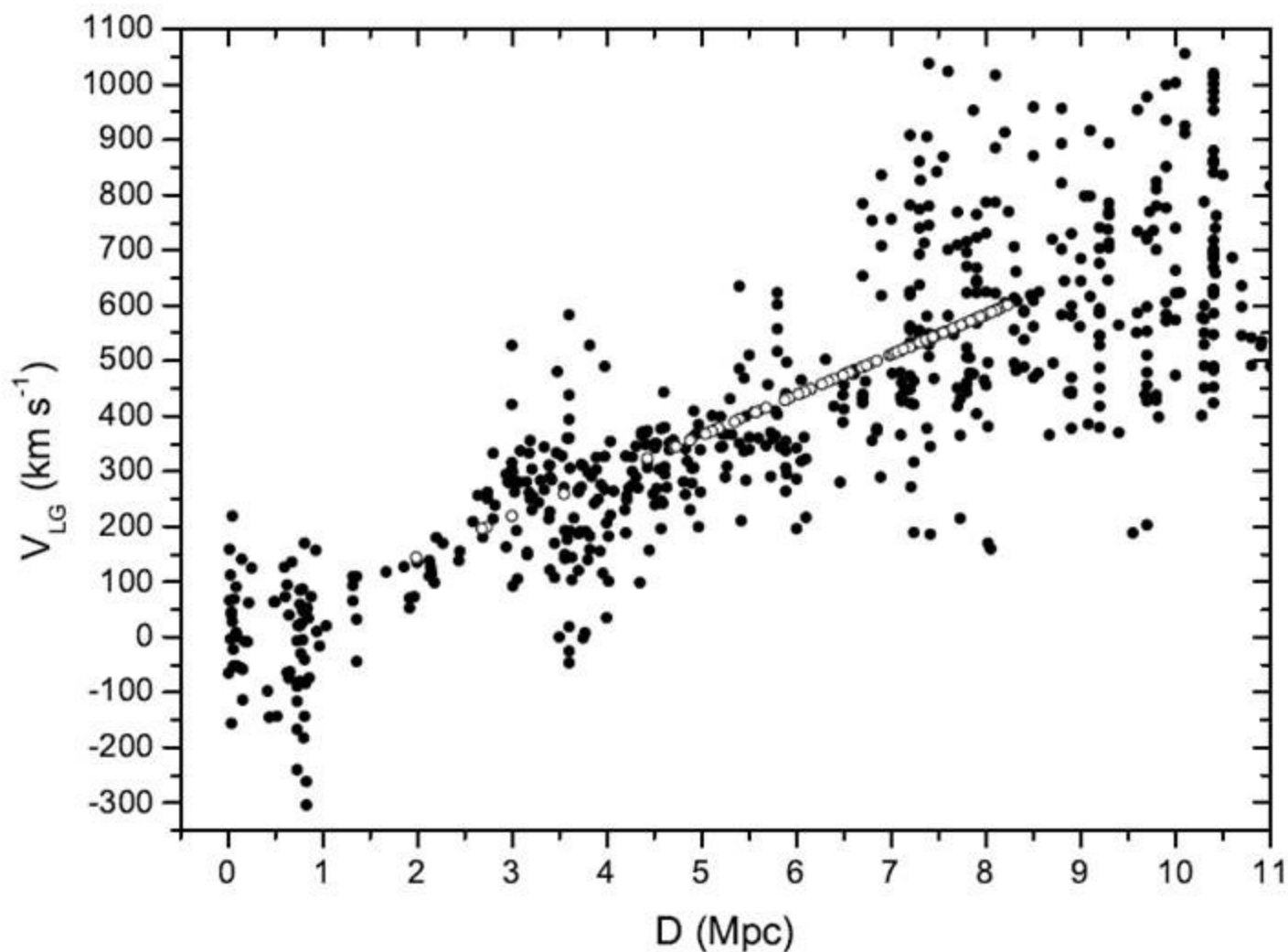
Edwin Hubble

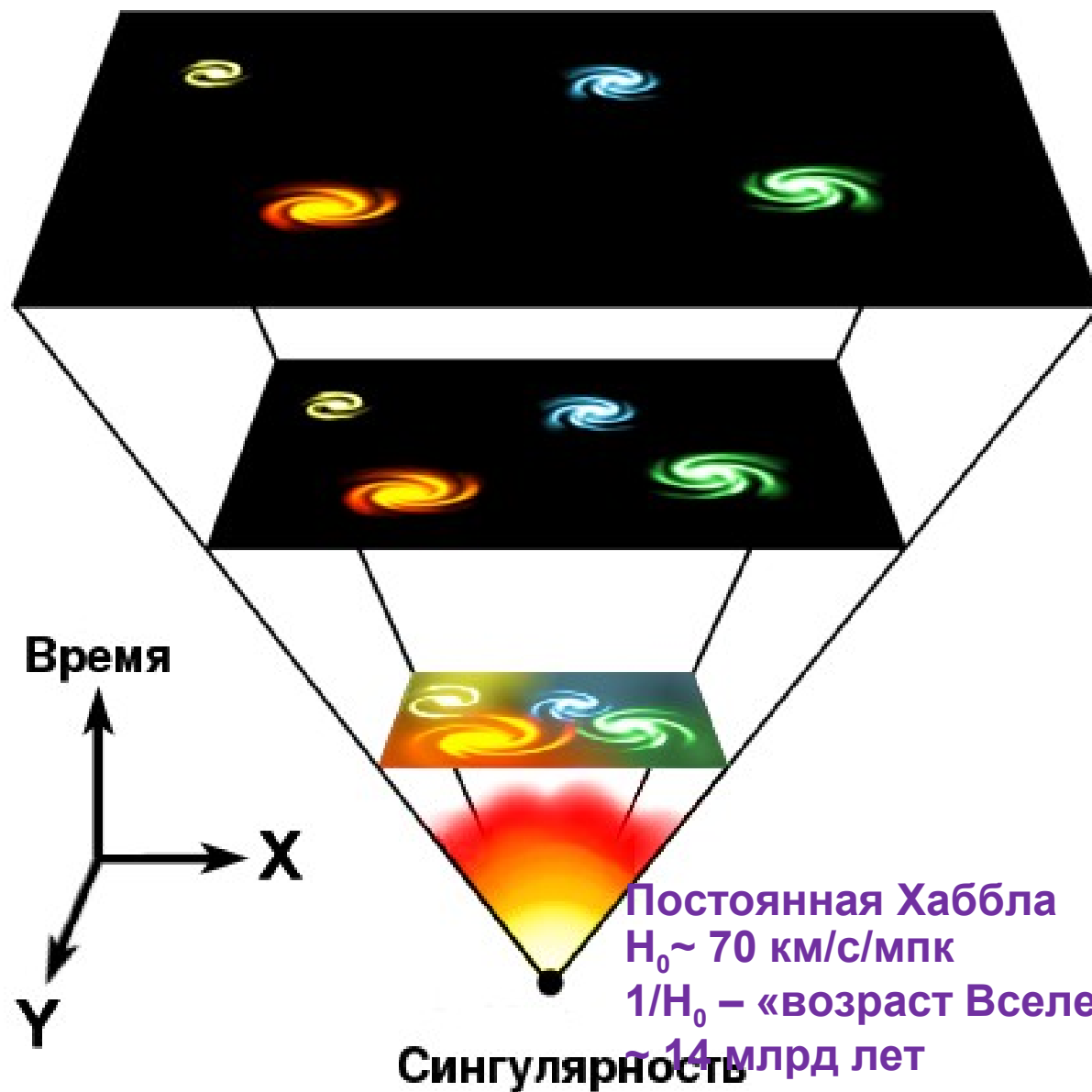


Mt. Wilson
100 Inch
Telescope

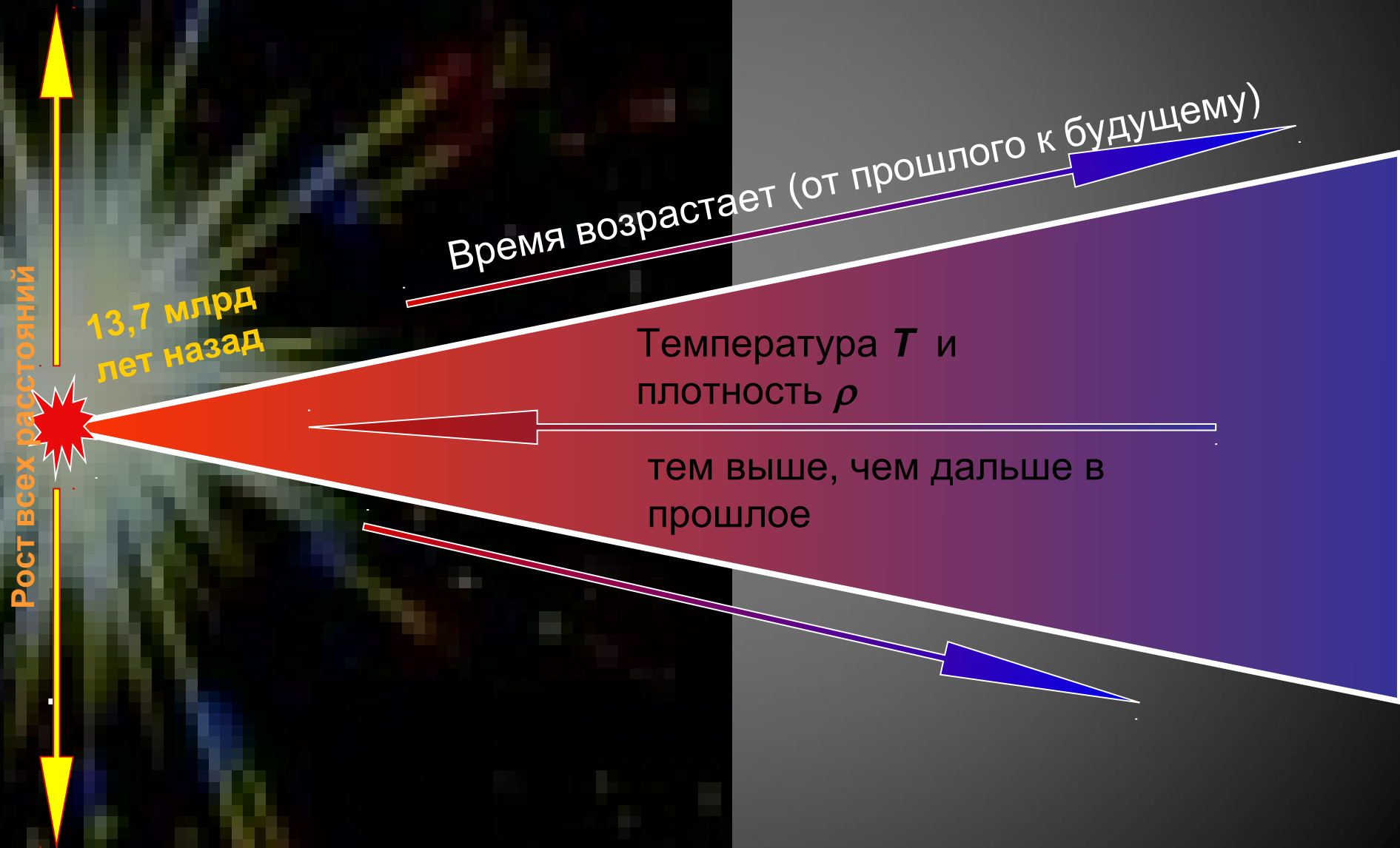
СОВРЕМЕННАЯ ДИАГРАММА ХАББЛА ДЛЯ ГАЛАКТИК В ПРЕДЕЛАХ ~ 35 МИЛЛИОНОВ СВЕТ. ЛЕТ

Караченцев и др., 2013





Эволюция Вселенной



1. Какой физический смысл имеет сингулярность?

Ответ: не имеет никакого. Это термин математический, а не физический

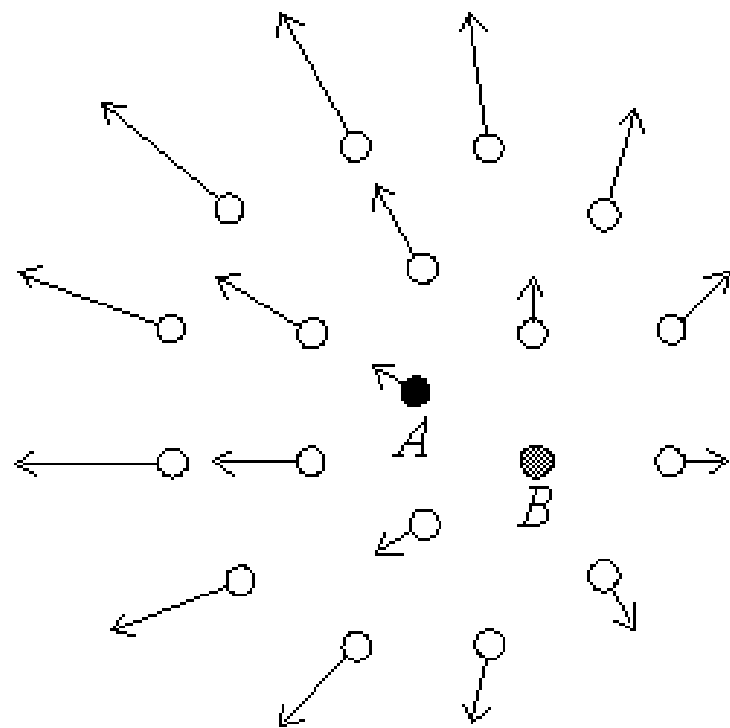
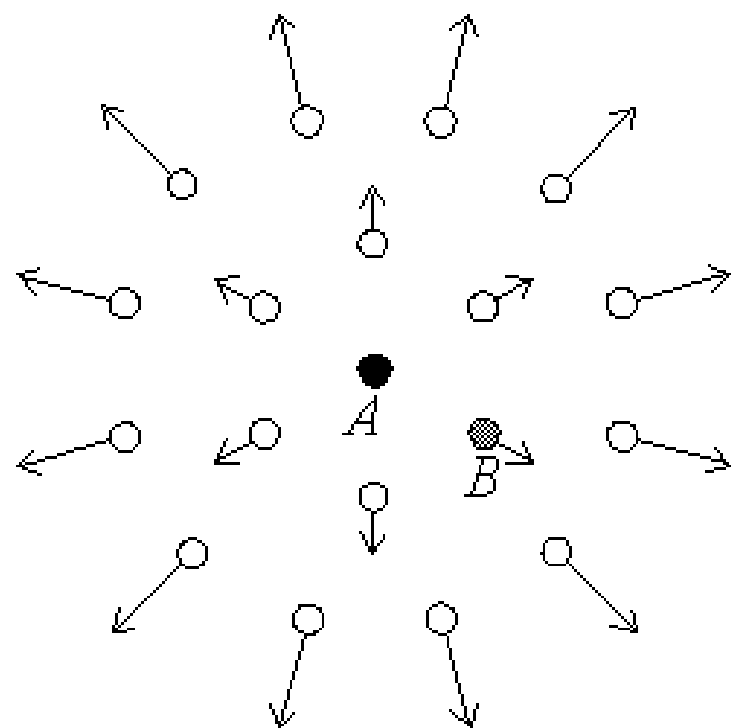
2. Правильно ли называть расширение вселенной взрывом?

Почему выражение
BIG BANG
или «Большой взрыв»
скорее дезинформирует, чем
что-либо объясняет?

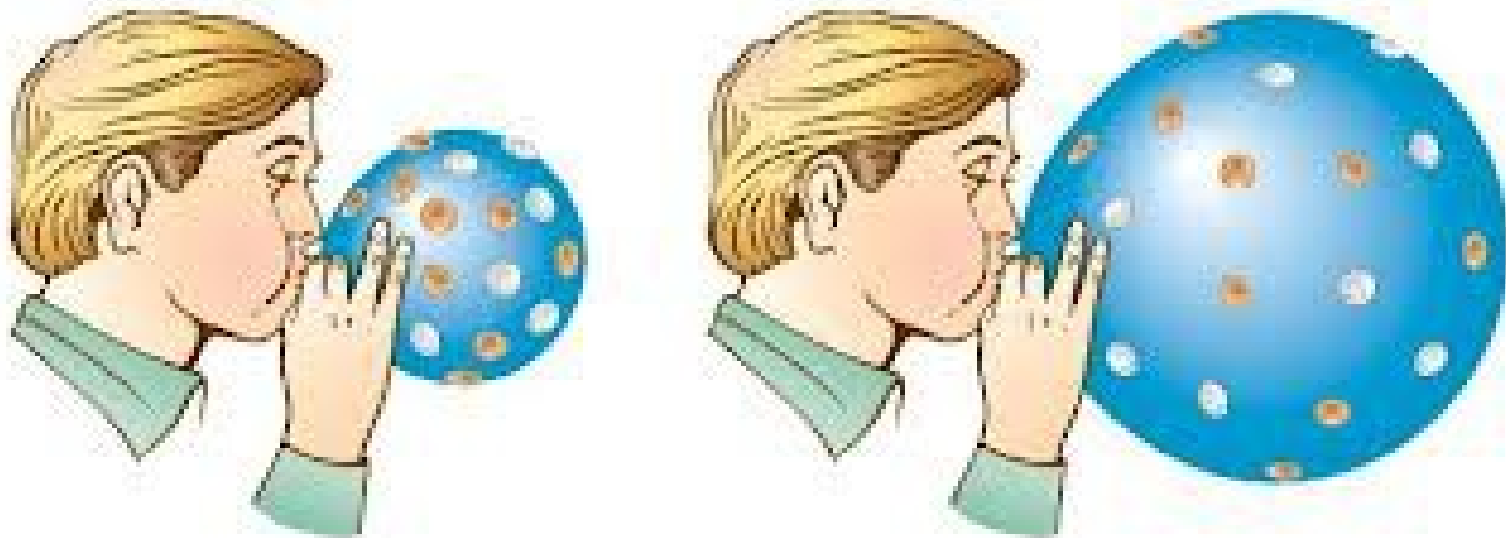
Похоже на Большой Взрыв?



Занимаем ли мы особое место?



В системе координат, где Вселенную можно считать в среднем однородной, галактики никуда не разлетаются. Расширяется пространство между ними, поэтому они удаляются друг от друга.



Таким образом, Большой Взрыв – это название в значительной степени условное.

- Большой Взрыв – это не локальный взрыв с разлетом материи в окружающее пространство.
- Это появление и расширение безграничного трехмерного пространства вместе с материей.

- Сверхсветовые скорости? Да ради Бога!
- Действительно, они имеют место у наблюдаемых далеких галактик. Надо только понимать, это скорости ЧЕГО?

Известная формула $V = c \cdot \Delta\lambda / \lambda$, как и линейный закон Хаббла, связывающий красное смещение с расстоянием, для больших красных смещений не годятся!

$$H_0 = 71 \text{ км/с/мпк}$$

Красное смещение $Z = \Delta\lambda/\lambda$	Время, затраченное светом, чтоб достичь наблюдателя (мрд. лет)
0.1	1.3
0.2	2.4
0.5	5.0
1.0	7.7
1.5	9.3
2.0	10.3
4.0	12.1
6.0	12.7
8.0	13.0
10.0	13.2

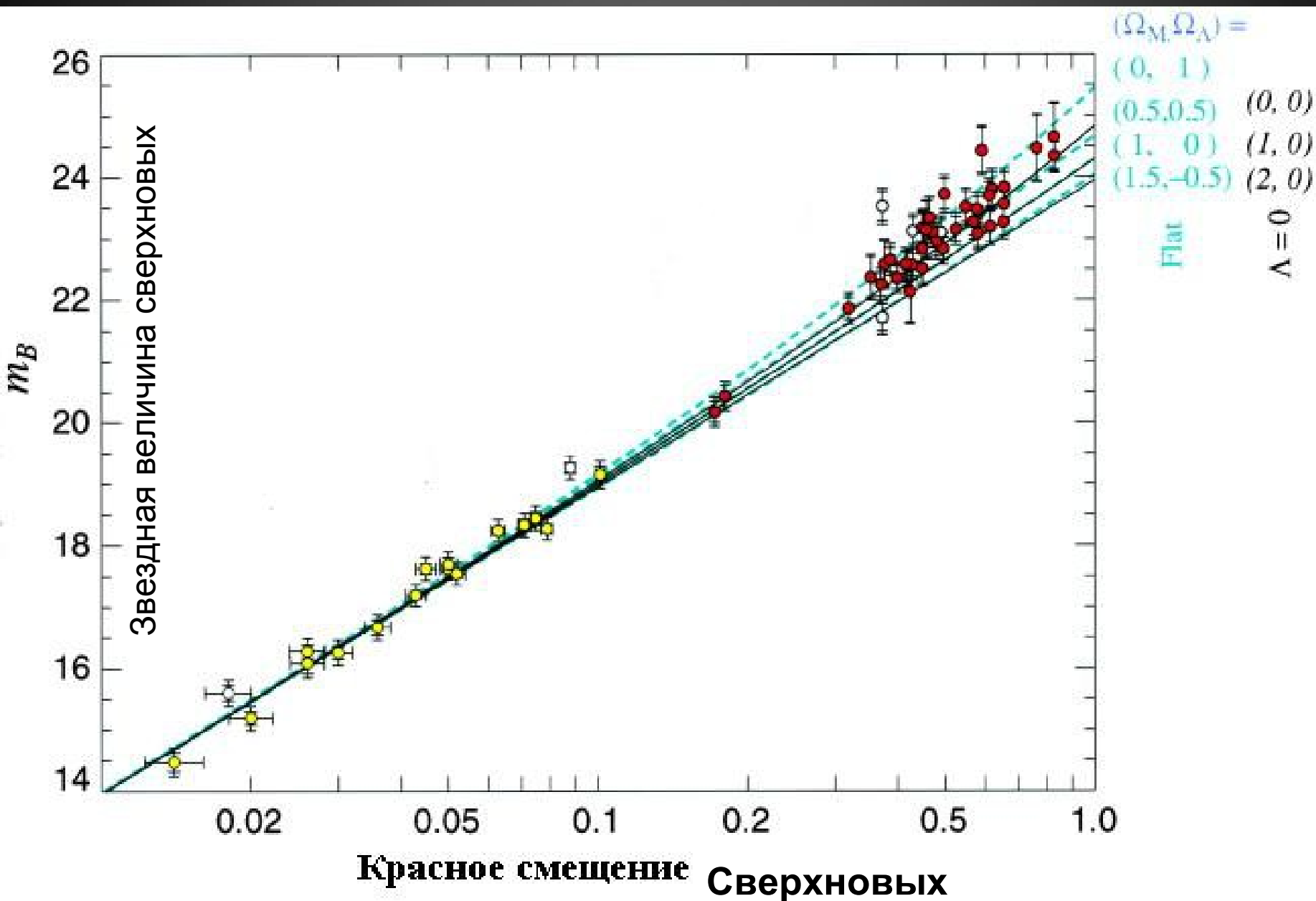
Ключ к истории Вселенной:

Выяснить изменение красного смещения
с расстоянием до галактик.

Сложности оценок больших расстояний:
все галактики разные.

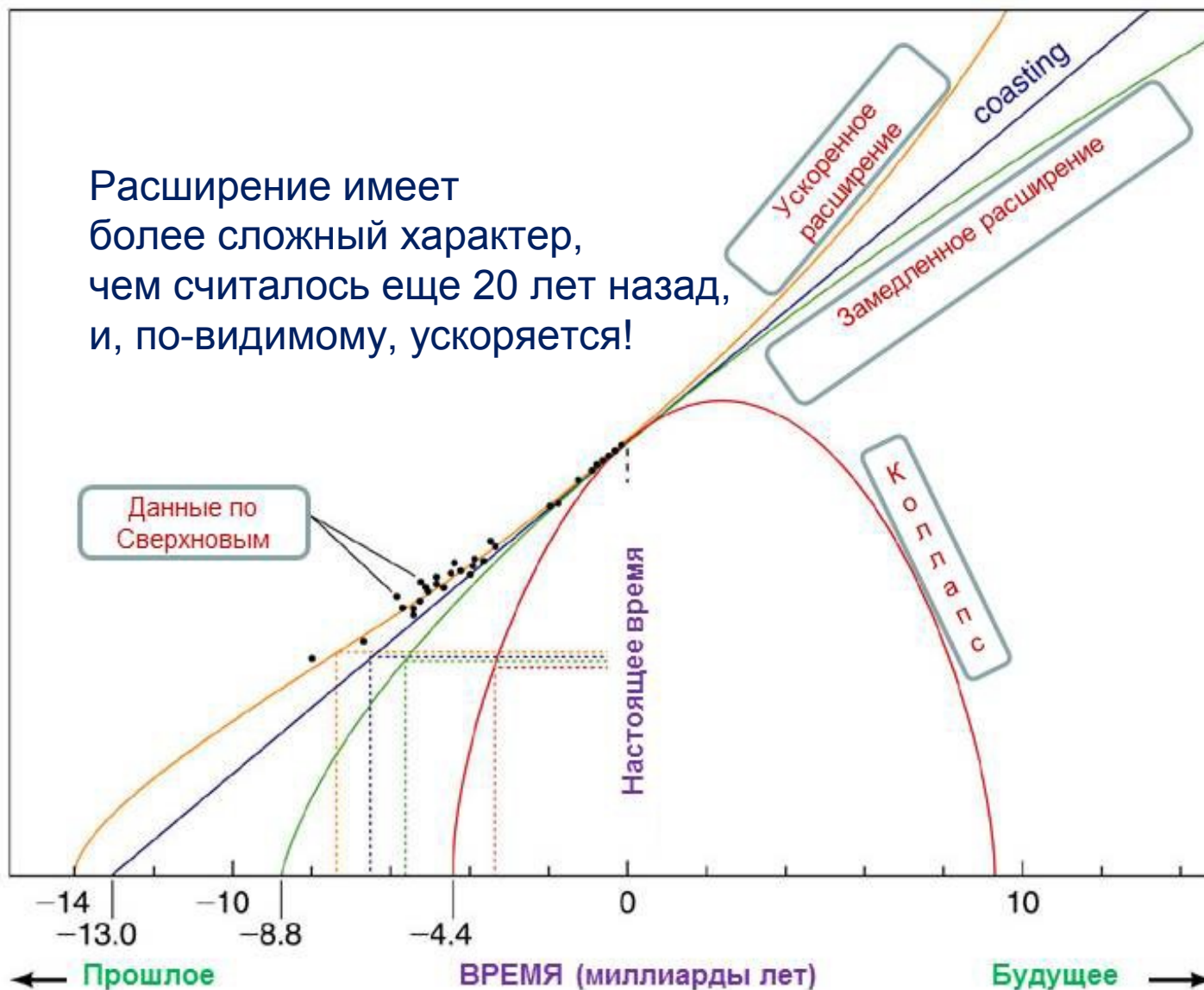
Для больших расстояний аналогом цефеид
оказались Сверхновые типа Ia.





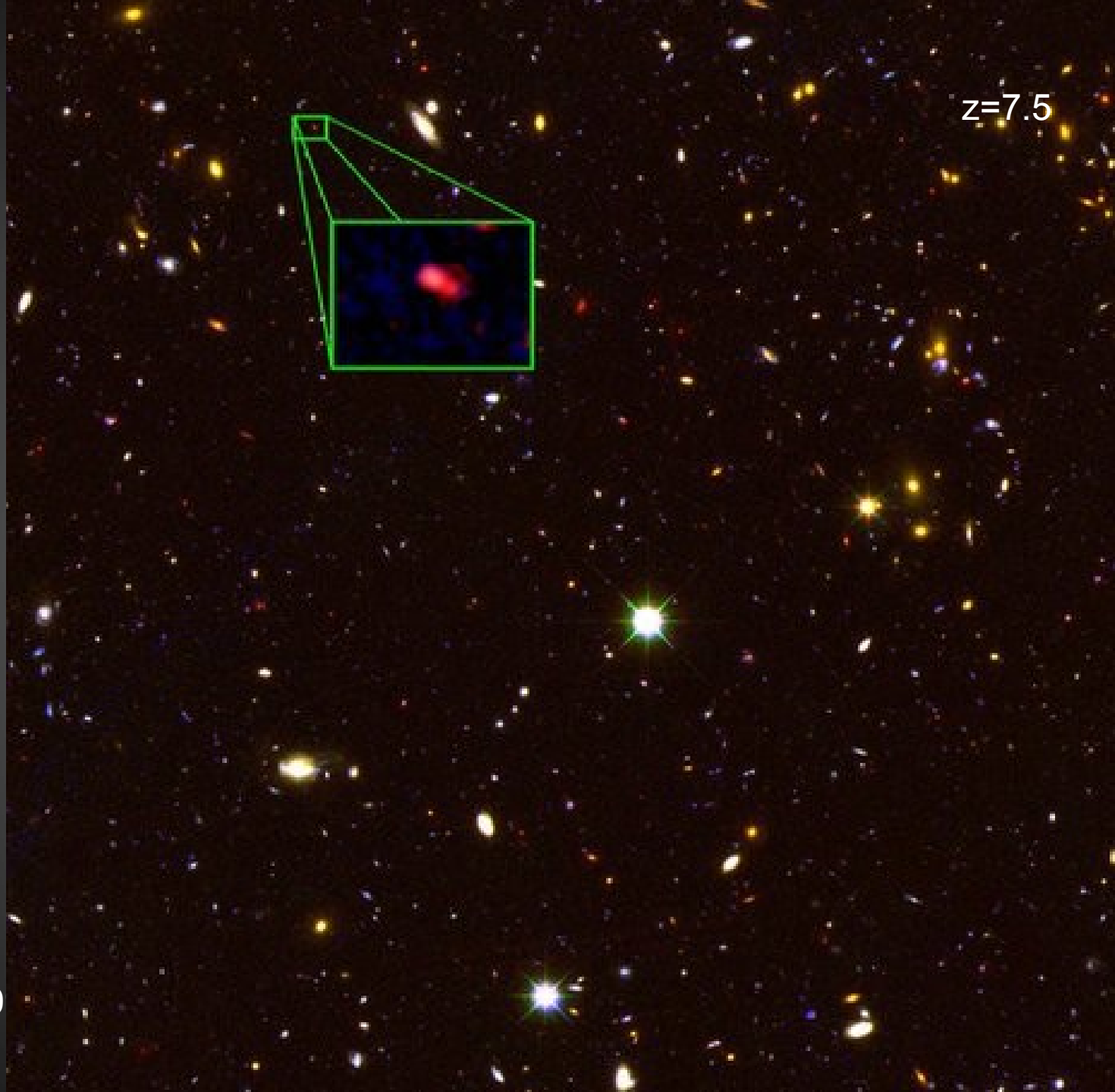
СРЕДНЕЕ РАССТОЯНИЕ МЕЖДУ
ГАЛАКТИКАМИ

Расширение имеет
более сложный характер,
чем считалось еще 20 лет назад,
и, по-видимому, ускоряется!



$z=7.5$

HUDF0



ВОПРОС

До какого расстояния мы сможем наблюдать объекты Вселенной, если чувствительность наших приборов будет возрастать неограниченно?

Вселенная безгранична, но область пространства, доступная для прямых наблюдений, всегда для нас будет конечной, хотя и непредставимо большой и ограничена сферой прозрачности

Из-за непрозрачности пространства на больших расстояниях мы ощущаем себя в центре слабо светящейся непрозрачной сферы!

Аналог: пейзаж в тумане



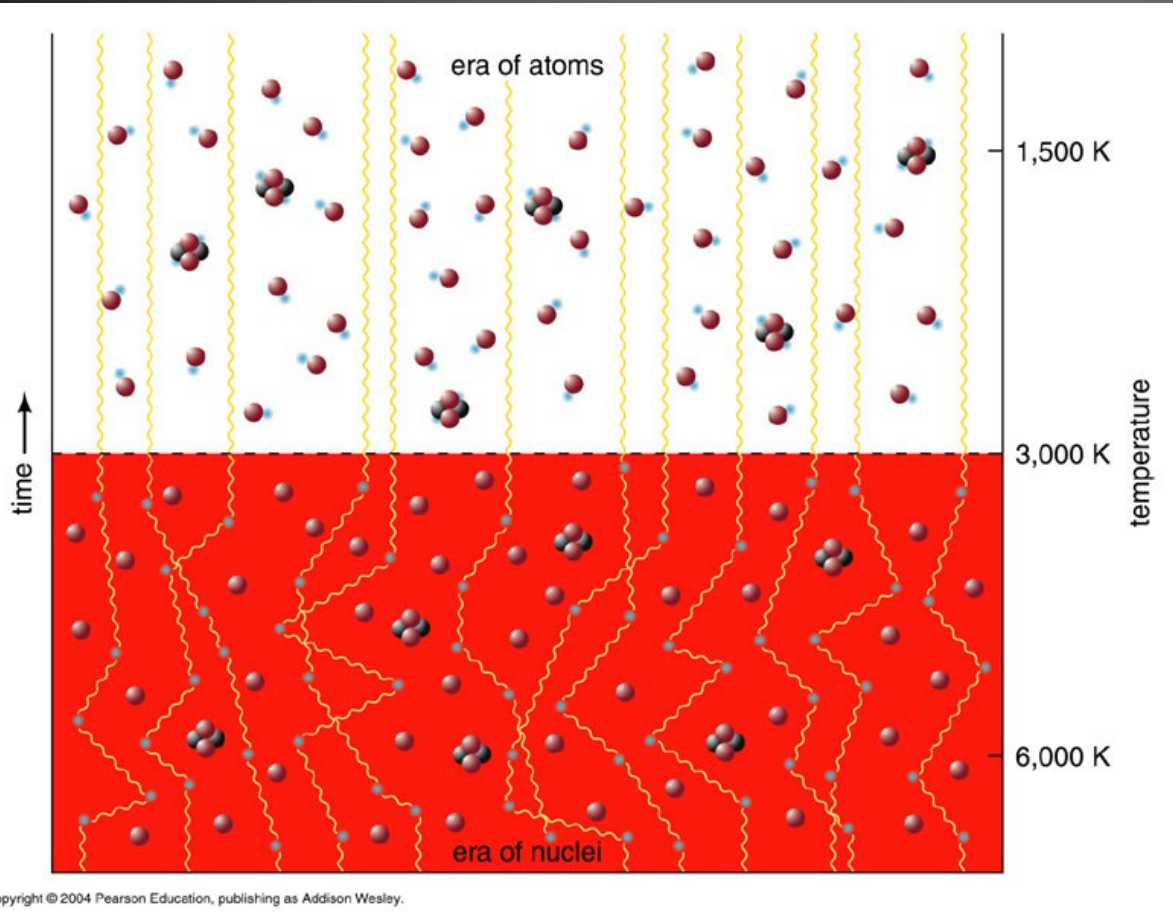
ПЕРЕХОДЯ К БОЛЕЕ ДАЛЕКОМУ
В ПРОСТРАНСТВЕ,
МЫ УХОДИМ К БОЛЕЕ ГЛУБОКОМУ
ПРОШЛОМУ

Мы видим границу
облаков там, где
свет испытал
последнее
рассеяние на пути
к нам



Рекомбинация водорода

($t_{\text{rec}} \sim 4 \times 10^5$ лет)



Происходит при
 $T \sim 3000$ K

$z_{\text{rec}} \sim 1000$

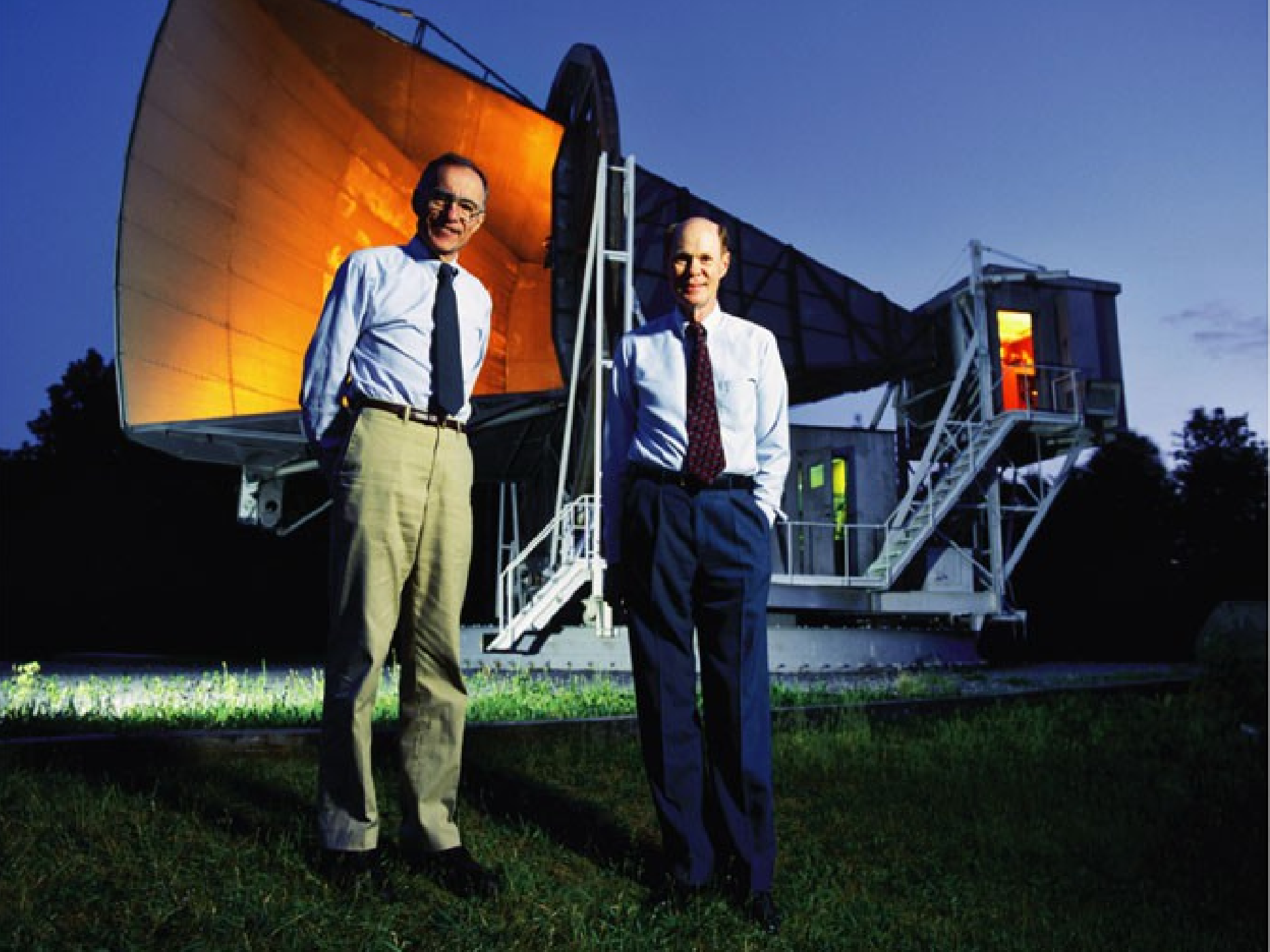
После
рекомбинации
Вселенная
прозрачна для
фотонов

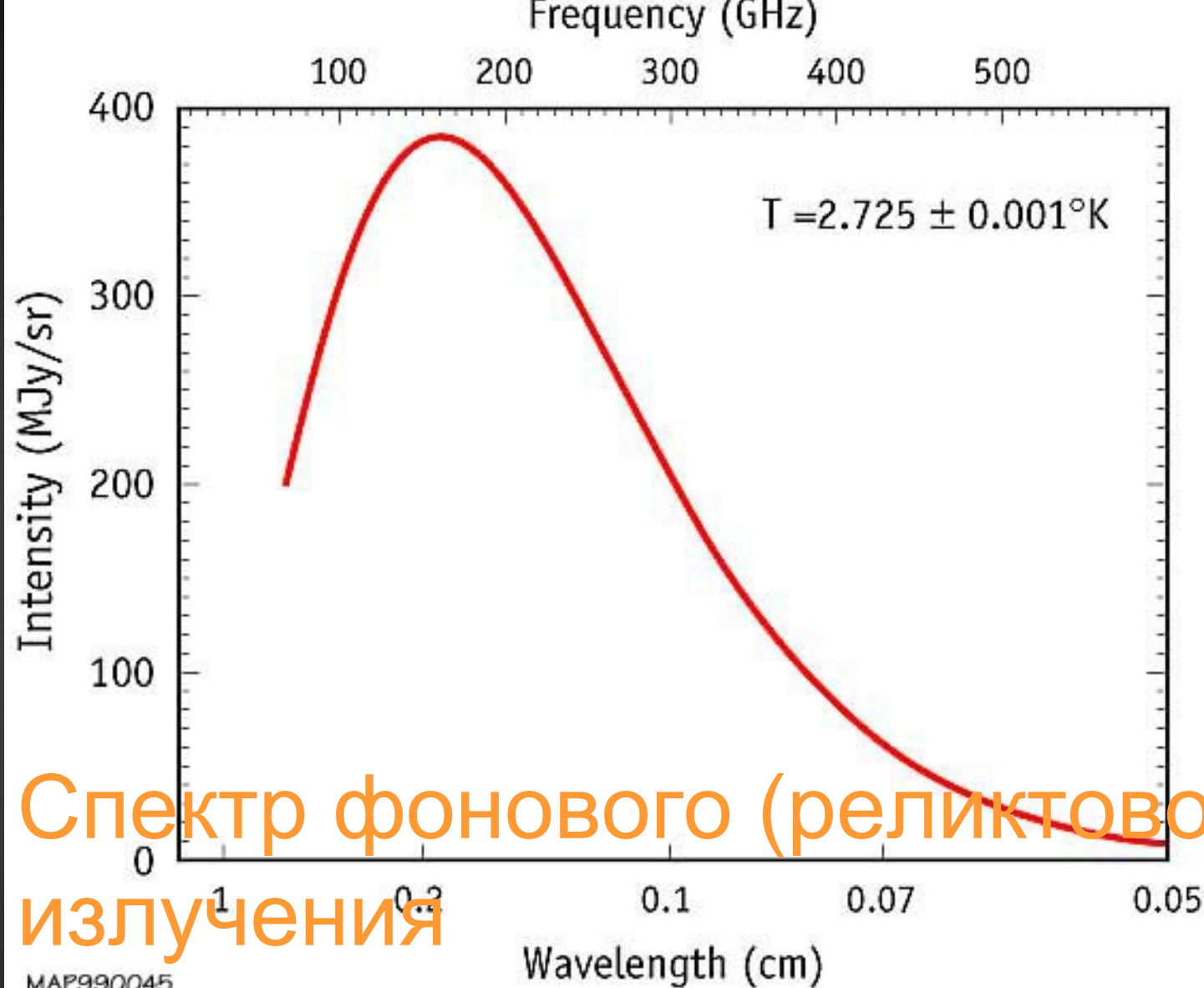
До рекомбинации
взаимодействие
фотонов с в-вом
делало Вселенную
непрозрачной для
фотонов

Георгий Гамов (1946 год):

После Большого Взрыва должны быть остаточные явления. Одно из них - существование слабого отголоска некогда мощного излучения, заполнявшего весь Мир после начала расширения. Это должно быть низкотемпературное излучение неба.

Исходя из космологического принципа, излучение должно приходить не с одного направления, а со всех сторон!





Спектр фонового (реликтового)
излучения

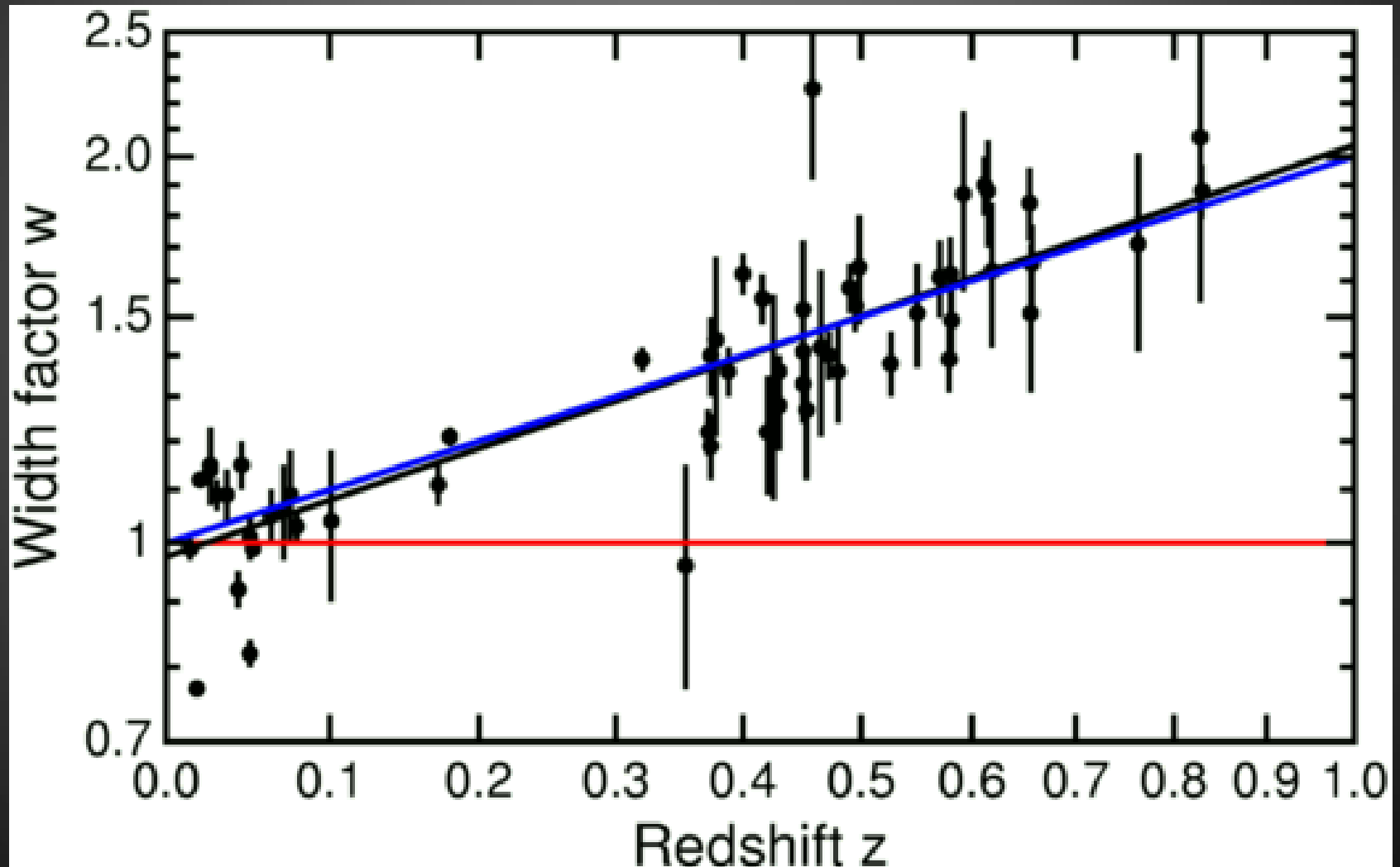
MAP990045

- Может, расширение – всего лишь иллюзия?
- **Альтернативный подход:**
- Нет никакого расширения. Просто фотоны со временем как-то теряют свою энергию («старение» фотонов), и поэтому приходят покрасневшими, только пока механизм старения неизвестен

Ряд обстоятельств против этого:

- а) спектр фонового излучения
- б) отсутствие размытия изображений
- в) несколько независимых СВИДЕТЕЛЬСТВ РАСШИРЕНИЯ ВСЕЛЕННОЙ – ПОМИМО ЗАКОНА ХАББЛА.

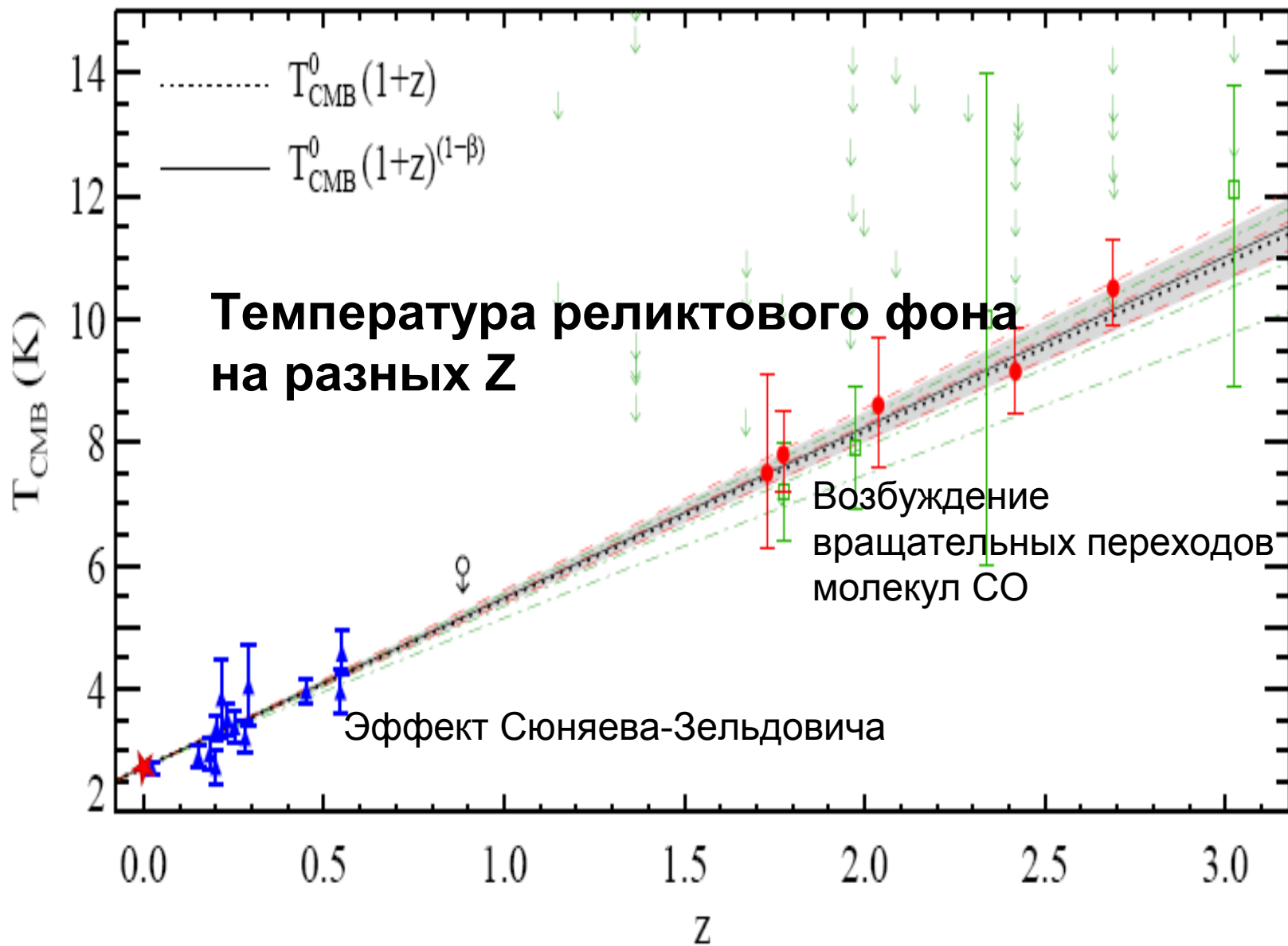
Продолжительность вспышек сверхновых звезд растет с ростом красного смещения (Goldhaber et al., 2001)



- Как узнать, действительно ли температура реликтового излучения падает со временем?

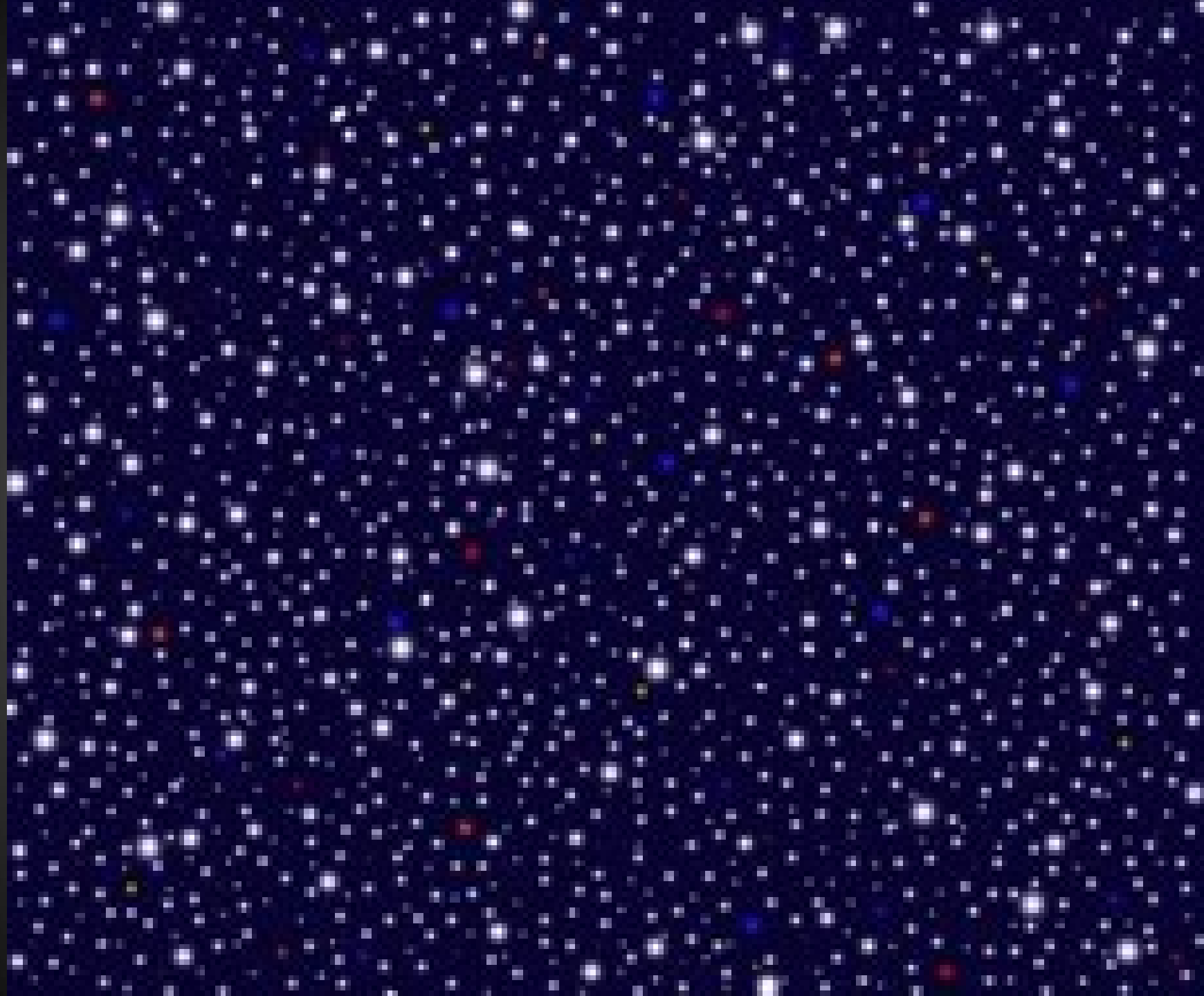
Измерение температуры реликтового фона

- а) по эффекту Сюняева-Зельдовича
- б) по линиям низкотемпературного возбуждения молекул CO.



ФОТОМЕТРИЧЕСКИЙ ПАРАДОКС,

- ИЛИ ПОЧЕМУ НОЧЬЮ ТЕМНО?
- Этот тривиальный факт тоже нельзя объяснить для вечно существующей не-расширяющейся Вселенной



Две причины отсутствия фотометрического парадокса

- 1. Конечность объема наблюдаемой звездной Вселенной,
- 2. Уменьшение энергии фотонов с ростом длины волны

$$E_{\text{фотон}} = h\nu = h\nu_0/(1+z),$$

где $1+z = \lambda_{\text{наблюдаемая}}/\lambda_0$ – изменение длины волны излучения

Альтернативная теория: расширяющаяся, но тем не менее вечная Вселенная

- *Фред Хойл*
- *Герман Бонди*
- *Томас Голд*



Вселенная все же эволюционирует!

- Отсутствие звезд с возрастом, превышающим продолжительность расширения Вселенной
- Отсутствие полного круговорота звездного вещества, и, как следствие, уменьшение запасов газа в галактиках со временем
- Химическая эволюция вещества

Телескоп как машина времени

Скорость света – 300 тысяч км/с, или около
 10^{13} км/год

- До Солнца – 8 св.минут
- До ближайшей звезды – около 4 св.лет
- До центра Галактики – около 22 тысяч св.лет
- До ближайшей галактики, похожей на нашу – около 2 миллионов св.лет
- До предельно далеких наблюдаемых галактик - 13 миллиардов св. лет

Космическая история



Hubble Probes the Early Universe

1990

Ground-based observatories

1995

Hubble Deep Field

2004

Hubble Ultra Deep Field

2010

Hubble Ultra Deep Field-IR

FUTURE

James Webb Space Telescope

Redshift (z):

Time after
the Big Bang

Present

1

6
billion
years

4

1.5
billion
years

5

6

7

800
million
years

8

10
million
years

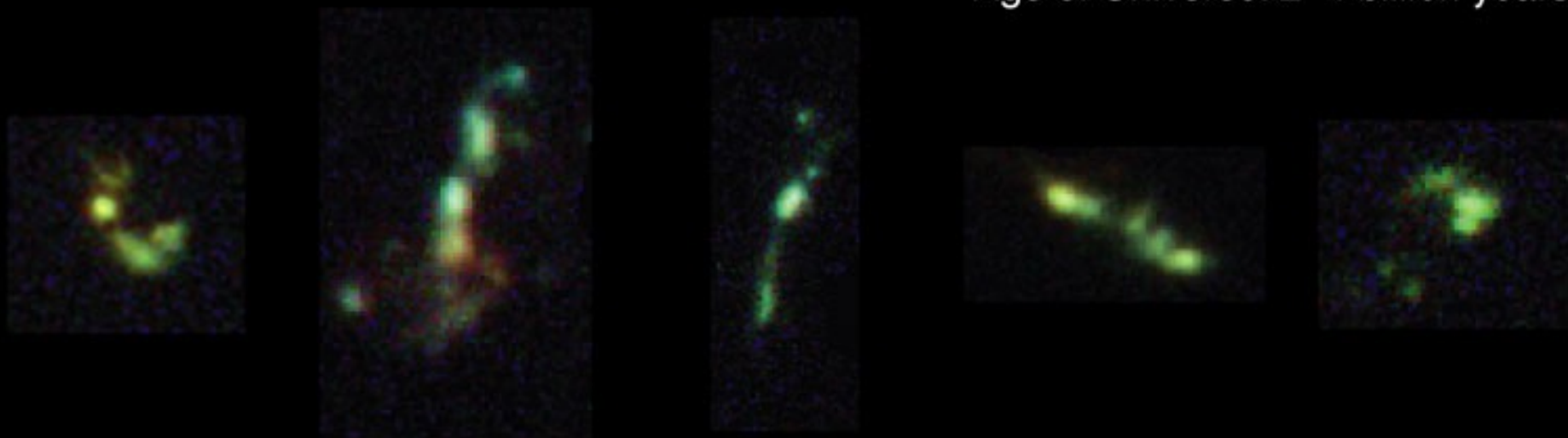
>20
million
years

Как меняется мир галактик?





Age of Universe: 2–4 billion years



Age of Universe: 5–7 billion years



ХИМИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ВЕЩЕСТВА

Periodic Table of the Elements																					
1 H																2 He					
3 Li																4 Be					
11 Na																12 Mg					
19 K																20 Ca					
37 Rb																38 Sr					
55 Cs																56 Ba					
87 Fr																88 Ra					

- Водород. Открыт в 1783 г. (Антуан Лавуазье)
- Гелий . Открыт в 1868 г. на Солнце (Пьер Жансен)
и в 1895 г. на Земле (Уильям Рамзай)

Эти элементы самые простые. Они должны были возникнуть ещё до того, как в природе появились первые звезды!

- Для объяснения наблюдаемого соотношения содержания водорода-гелия-дейтерия -лития-7 требуется, чтобы плотность обычной материи, состоящей из атомов составлял 4.5-5% от критической плотности, или
около 10^{-30} г/см³

Образование гелия происходило в интервале 1-3 минуты после начала расширения.

ЧТО БЫЛО ЕЩЕ РАНЬШЕ?

Теория горячей Вселенной.

Подойти к нулевому моменту можно только через физику высокоэнергичных элементарных частиц.

Квантовая механика. Теория Великого Объединения (сил).

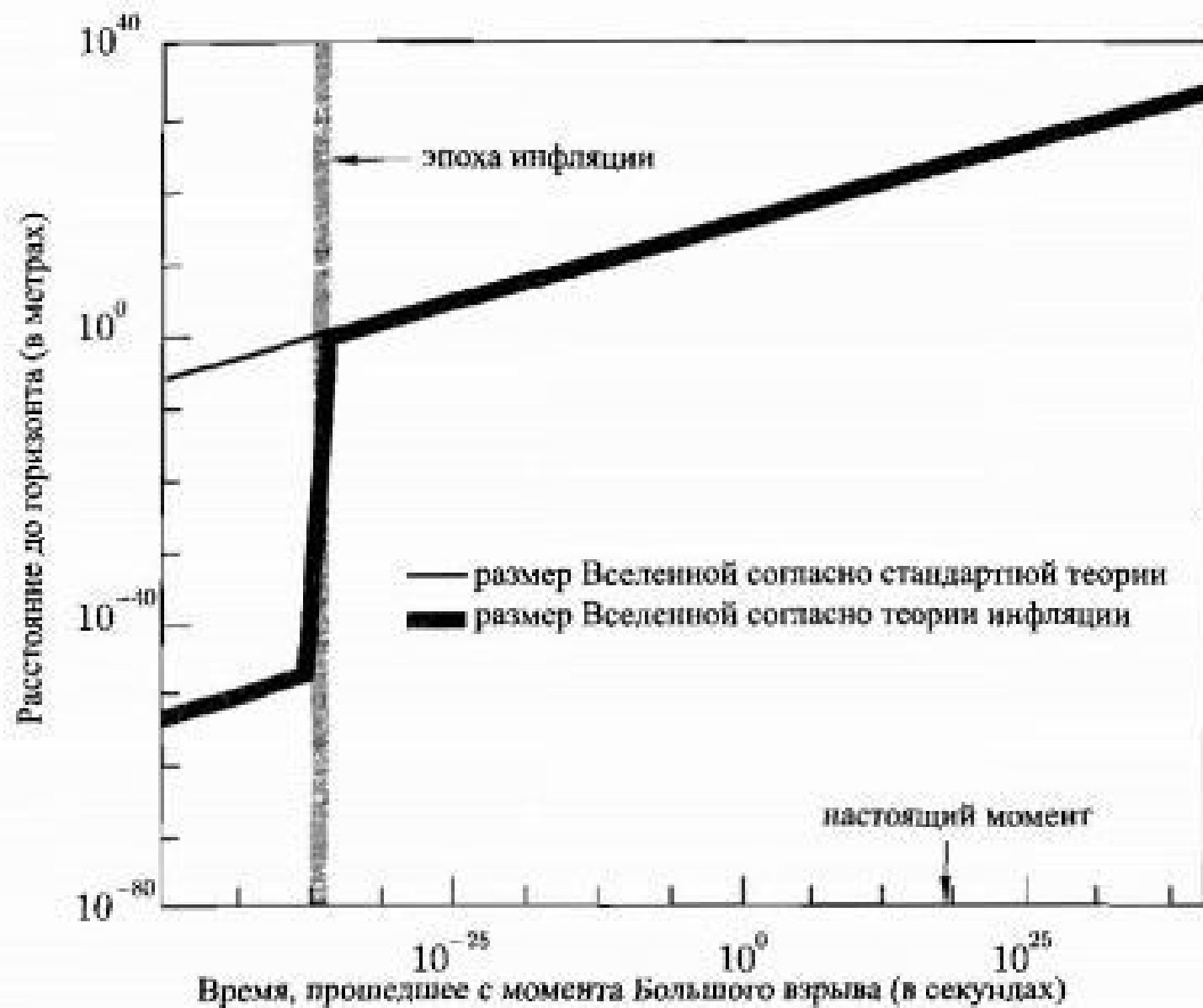
80-е годы.

РОЖДЕНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ МИКРОФИЗИКИ -
СИНТЕЗ КОСМОЛОГИИ И ФИЗИКИ
ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ И ИХ ПОВЕДЕНИЯ
ПРИ СВЕРХВЫСОКИХ ЭНЕРГИЯХ.

Инфляционное расширение:

Короткий этап взрывного расширения, в течение которого размер любой области Вселенной должен был возрасти на много порядков.

- А. Гут (США)
Кончается фазовым переходом с формированием материи со знакомыми нам физическими свойствами
- А. Линде (СССР, США)
- А. Старобинский (Россия)
- -и другие



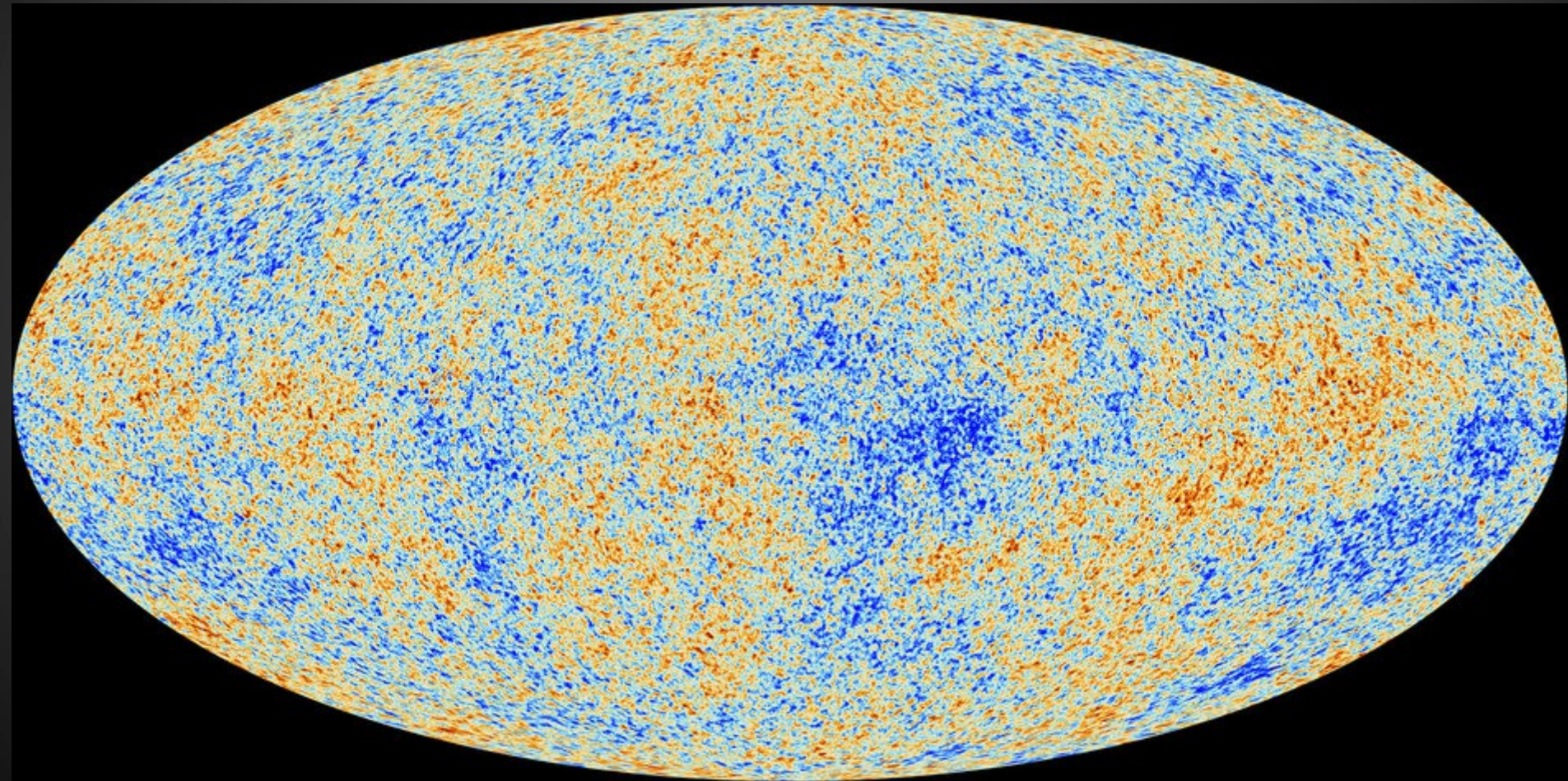
ЭРА	Время с	расширения
Инфляционное расширение	10^{-33} с	Пока только обоснованные гипотезы
Разделение слабого и электромагнитного взаимодействия	10^{-12} с	
Адронная (аннигиляция частиц и античастиц)	10^{-6} с	Теория, хорошо объясняющая наблюдения
Лептонная эра	1 с	
Эра нуклеосинтеза	Несколько минут	Проверяется прямыми наблюдениями
Радиационная эра	Несколько недель, десятков тыс. лет	
Эра вещества	50 тыс. лет и позднее	
Эра рекомбинации (реликтовое излучение)	380 тыс. лет	
Начало звездной эры	0.2 -0.5 млрд лет	
Современный этап.	10-14 млрд. лет	

У самого начала расширения:

Нет единой физической теории, пригодной для сверхвысоких плотностей. Теория относительности не учитывает квантомеханические законы, и, прежде всего, принцип неопределенности и квантовые флуктуации физических величин. А именно с них все начиналось...

О возможности
существования Вселенной и
до Большого Взрыва...
Где искать ее следы?

Фон неба. Обсерватория Планк (ESA)



Космологический принцип, возможно, выполняется лишь не очень строго...

РАЗЛИЧНЫЕ ТЕОРИИ ВЕЧНЫХ И/ИЛИ МНОЖЕСТВЕННЫХ ВСЕЛЕННЫХ, каждая из которых - безгранична

**«Есть бесчисленные вселенные за пределами этой,
и несмотря на то, что они бесконечно велики, они вращаются
в Тебе, подобно мельчайшим частицам».**

— Бхагавата-Пурана (священное писание индуизма)



Множественные вселенные, каждая из которых безгранична (M.Tedmark, 2003; S.Weinberg, 2005)

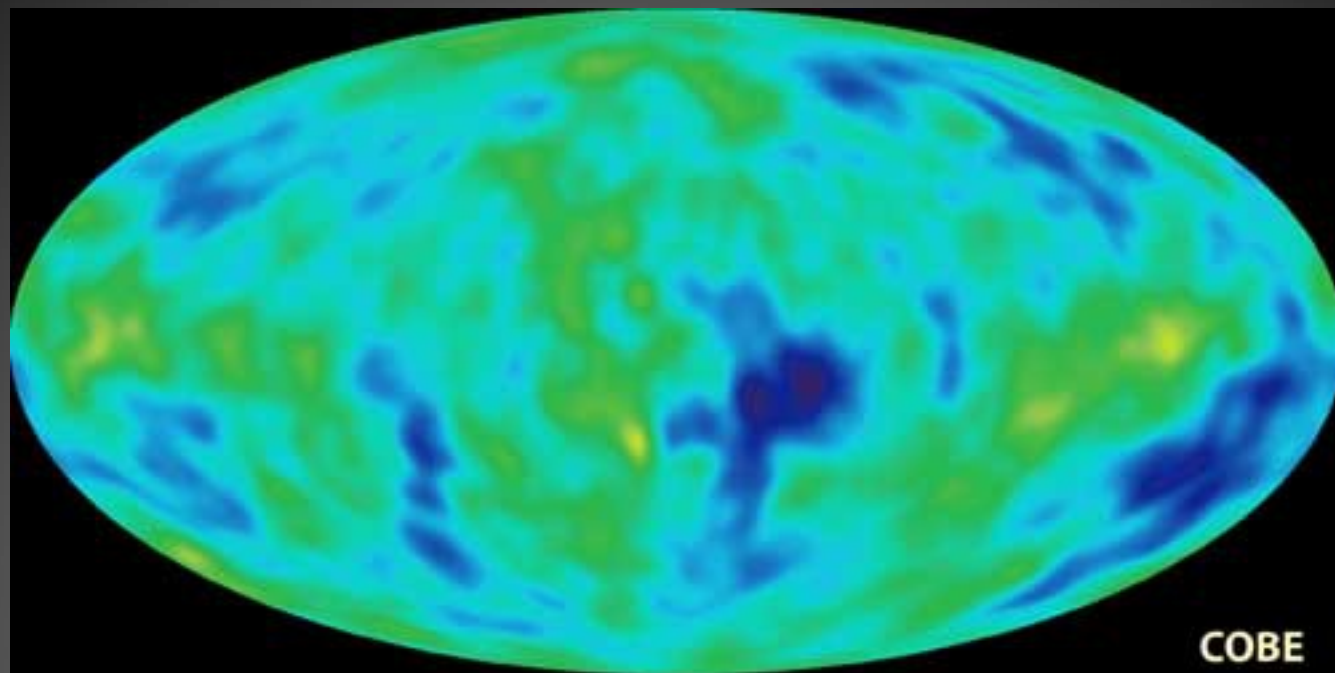
Вселенные, которые «отпочковываются» одна от другой (А.Линде)

Циклические модели (P.Frampton 2006; P.Steinhardt, N. Turok, 2004)

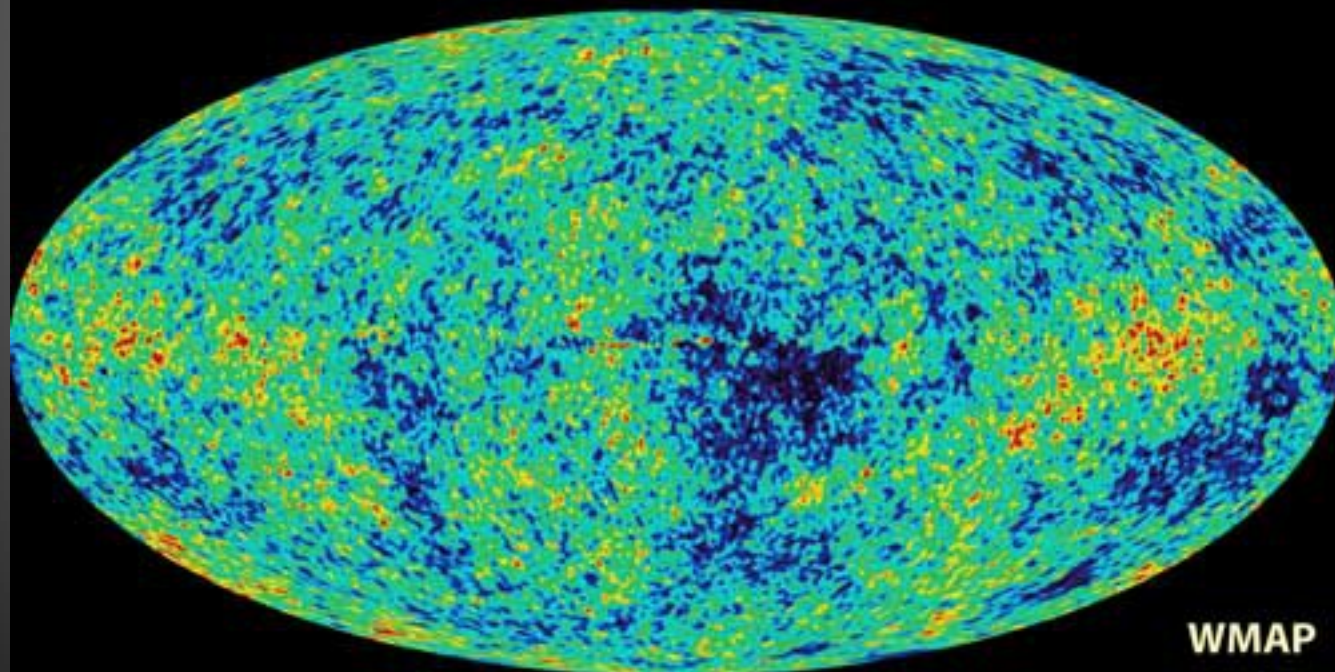
ПОКА НЕТ ЯВНЫХ КОНФЛИКТОВ С ФИЗИКОЙ ИЛИ С НАБЛЮДЕНИЯМИ, НО НЕТ И КАКОГО-ЛИБО ПОДТВЕРЖДЕНИЯ ЭТИХ ТЕОРИЙ

Как в первоначально очень
горячем и расширяющемся Мире
смогли появиться галактики?

В идеально однородной Вселенной
ничего возникнуть не может. Должны
существовать слабоконтрастные
неоднородности в яркости фонового
излучения, существовавшие на момент
рекомбинации



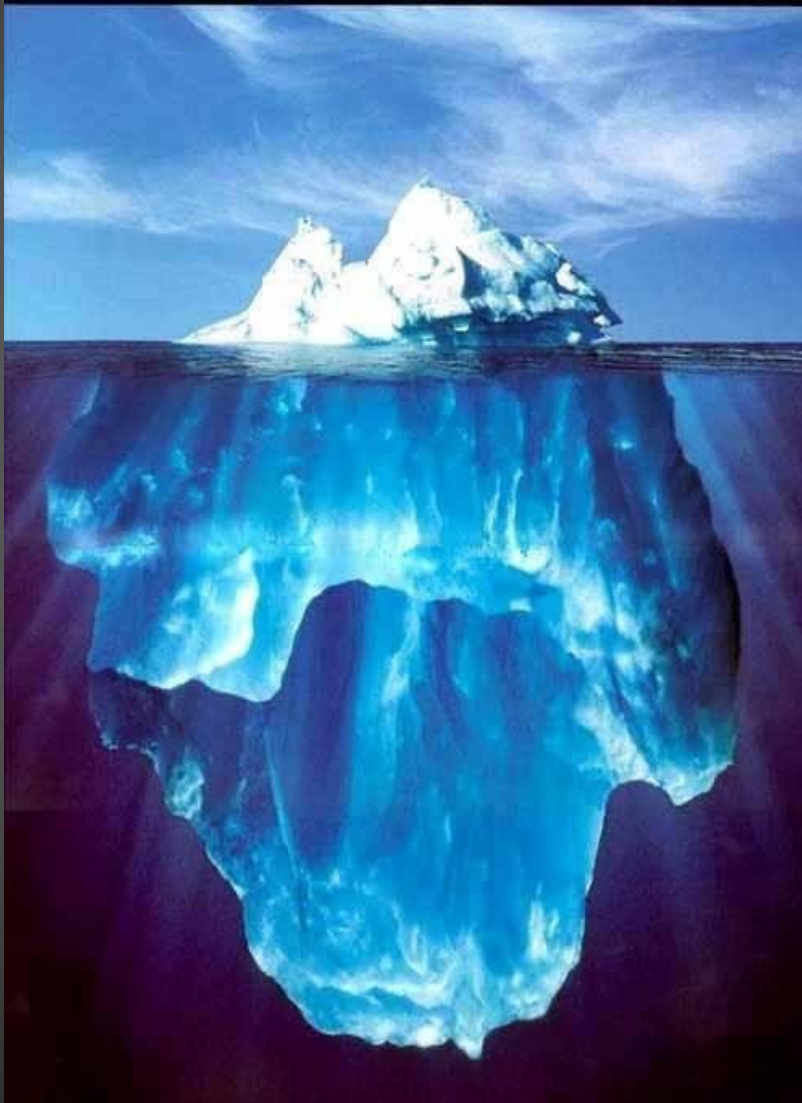
COBE



WMAP

ПРОБЛЕМА

- Видимой материи недостаточно, чтоб за полмиллиарда лет образовать первые галактики.
- С учетом темной материи этот процесс удастся объяснить и смоделировать



Только вещество:

~1-2%-

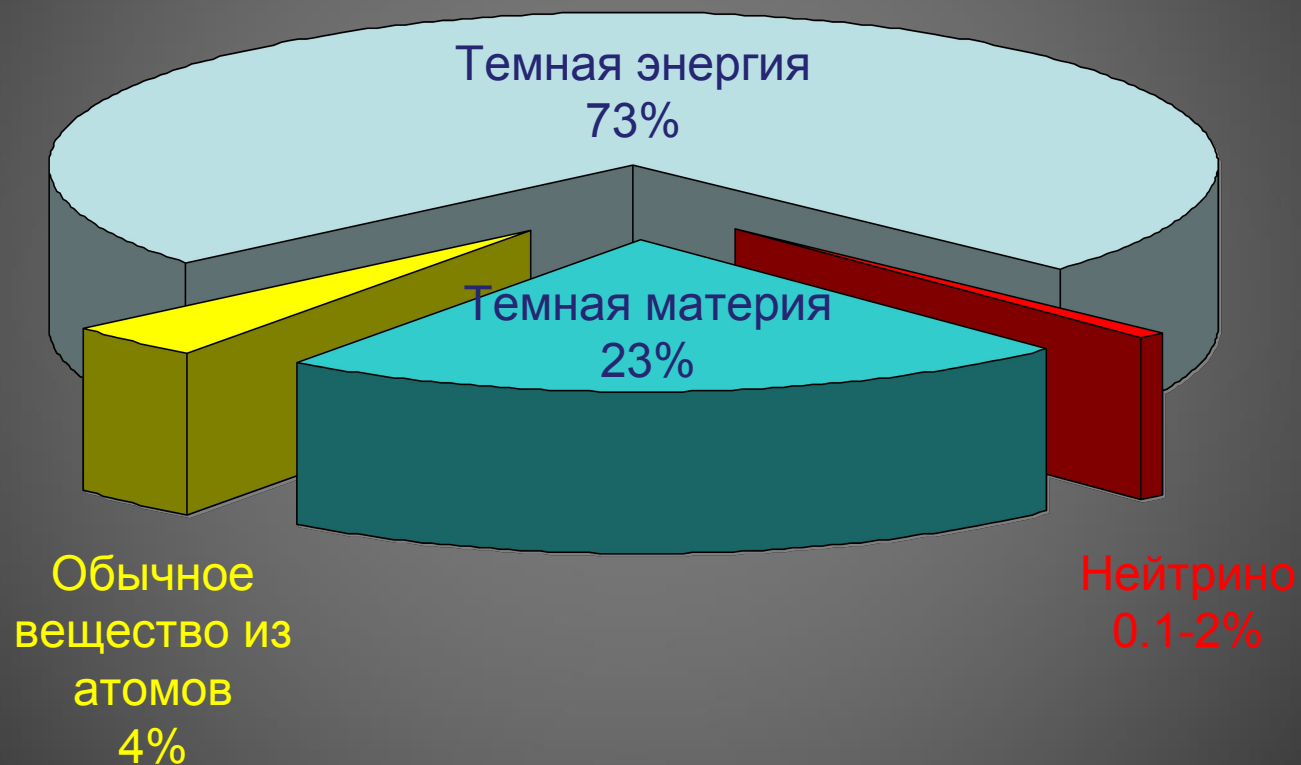
весь видимый мир
(звезды+газ
+твердые тела)

~98%

Темная масса:

барионная (1/10)
+не-барионная(9/10)

Космический «пирог»



ВОПРОС:

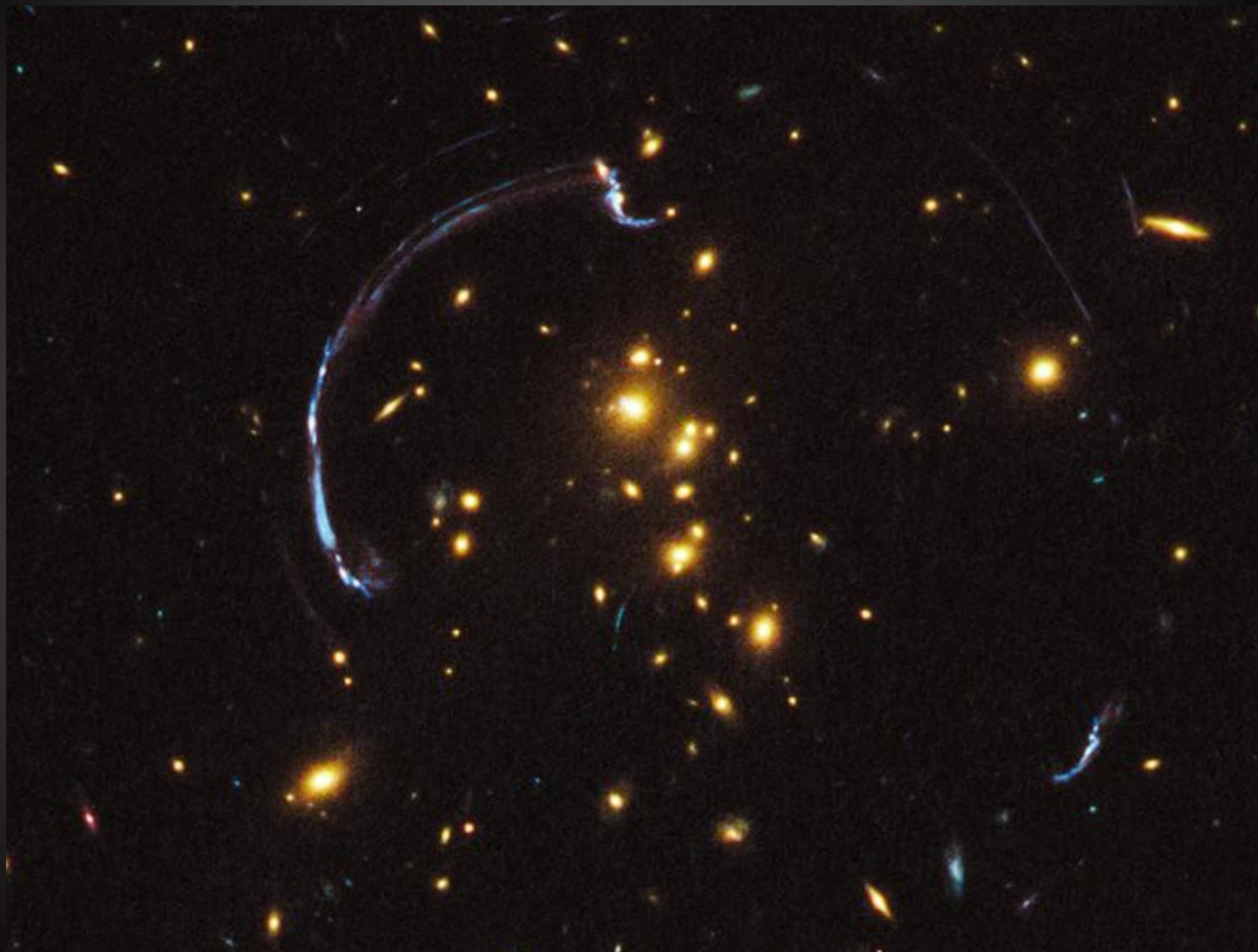
ТЕМНАЯ МАТЕРИЯ – ЭТО ДОКАЗАННЫЙ ФАКТ
ИЛИ ГИПОТЕЗА?

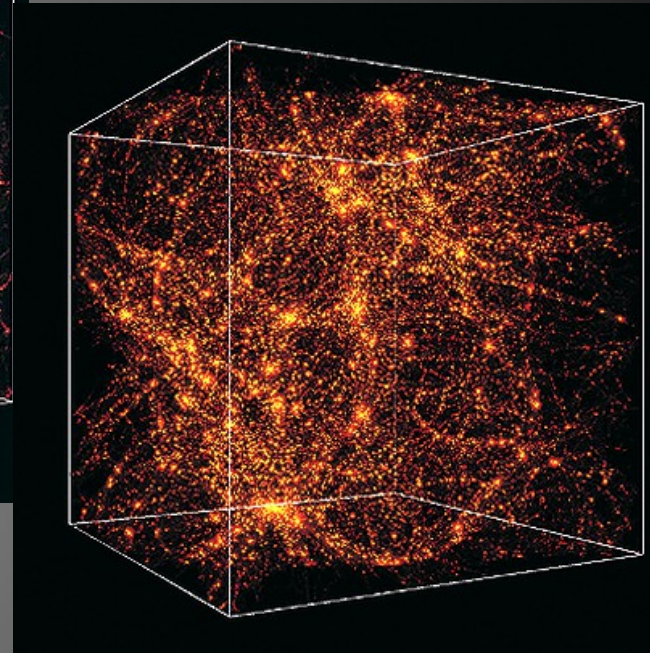
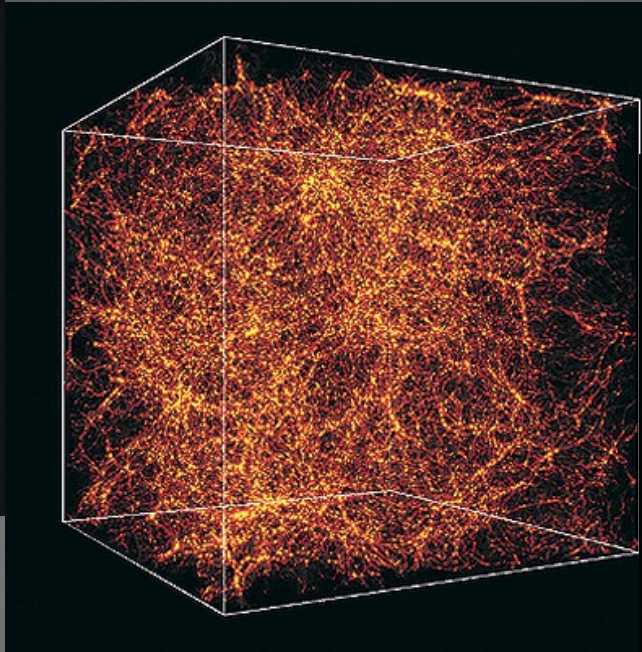
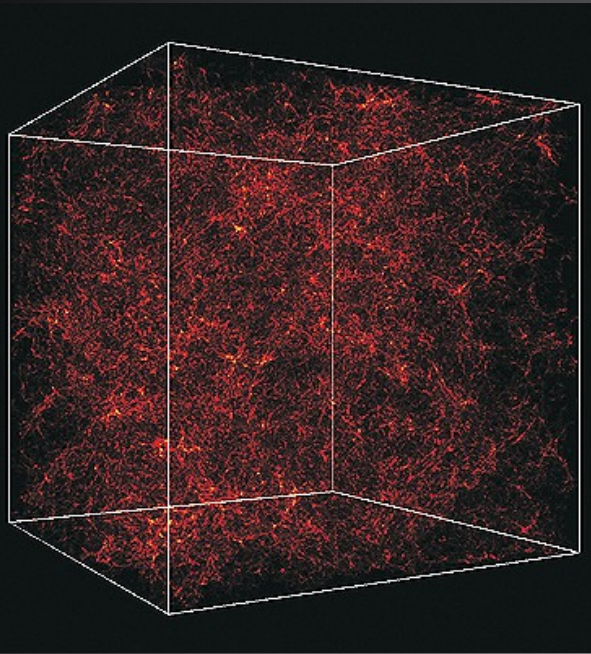
ОТВЕТ:

ГИПОТЕЗА.

В ПРИНЦИПЕ, МОГУТ БЫТЬ ИНЫЕ ВАРИАНТЫ
(но еще более фантастичные)

Но эта гипотеза хорошо согласуется с наблюдениями.
Она позволяет решить сразу целый ряд проблем.





DM filaments at 0.5, 2 and 13.4 Gyrs. Supercomputer models.
“Chicago Team” led by Kravtsov, 2006



- Активные процессы в галактиках постепенно затухают. Вселенная «стареет»

Выводы

- Вселенная расширяется, и весь мир как целое меняется непрерывно.
- Были эпохи, когда природа не знала ни звезд, ни галактик. Тогда пространство было заполнено остывающим газом, еще раньше- высокоэнергичными частицами, но были и еще более ранние стадии, не похожие ни на что из того, что мы знаем....
- Процессы, предшествующие началу быстрого расширения («Большого Взрыва») и сразу после него шли в столь необычных для нас условиях, что существующего аппарата физики недостаточно для их описания.

ПРОБЛЕМЫ НЕРЕШЕННЫЕ, НО АКТУАЛЬНЫЕ

- Проблема единственности наблюдаемой вселенной, или «что там, за горизонтом?»
- Проблема начальных условий в ранней Вселенной, объясняющих наблюдаемый мир: случайны ли они?
- Проблема природы темной материи и темной энергии
- Возможная роль разума в эволюционном процессе



А.Д.Сахаров. 1975г

- В бесконечном пространстве должны существовать многие цивилизации, в том числе более разумные, более "удачные", чем наша. При этом другие цивилизации, в том числе более "удачные", должны существовать бесконечное число раз на "предыдущих" и "последующих" к нашему миру листах книги Вселенной. Но все это не должно умалить нашего священного стремления именно в этом мире, где мы, как вспышка во мраке, возникли на одно мгновение из черного небытия бессознательного существования материи, осуществить требования Разума и создать жизнь, достойную нас самих и смутно угадываемой нами Цели.
- *1 декабря 1975 г.*