

РАСШИРЯЮЩАЯСЯ ВСЕЛЕННАЯ

Новые понятия:

- Крупномасштабная структура Вселенной
- Возраст Вселенной
- Однородные изотропные модели
- Начальная сингулярность
- Фоновое (реликтовое) излучение
- Фотометрический парадокс Ольберса
- Эволюция плотности фотонов и барионов
- Ранние стадии расширения Вселенной
(от нуклеосинтеза до рождения галактик)

Повторение

- Активные ядра наблюдаются примерно в одной галактике из ста, хотя ядра низкой активности есть почти у всех галактик .
Имеется несколько типов активных ядер галактик, но все они характеризуются очень высоким выходом энергии — в 10^9 - 10^{12} раз выше, чем энергетический выход звезд типа Солнца.
- Источником энергии ядер является энергия падающего вещества в очень сильном гравитационном поле компактного объекта, по-видимому, сверхмассивной черной дыры.
- Основной областью выделения энергии является аккреционный диск с температурой до миллиарда градусов, вращающийся с околосветовой скоростью вокруг черной дыры
- На стадии квазара активное ядро может сильно влиять на галактику в целом, выметая из внутренней области галактики газ, не успевший превратиться в звезды.

Десять часто задаваемых вопросов.

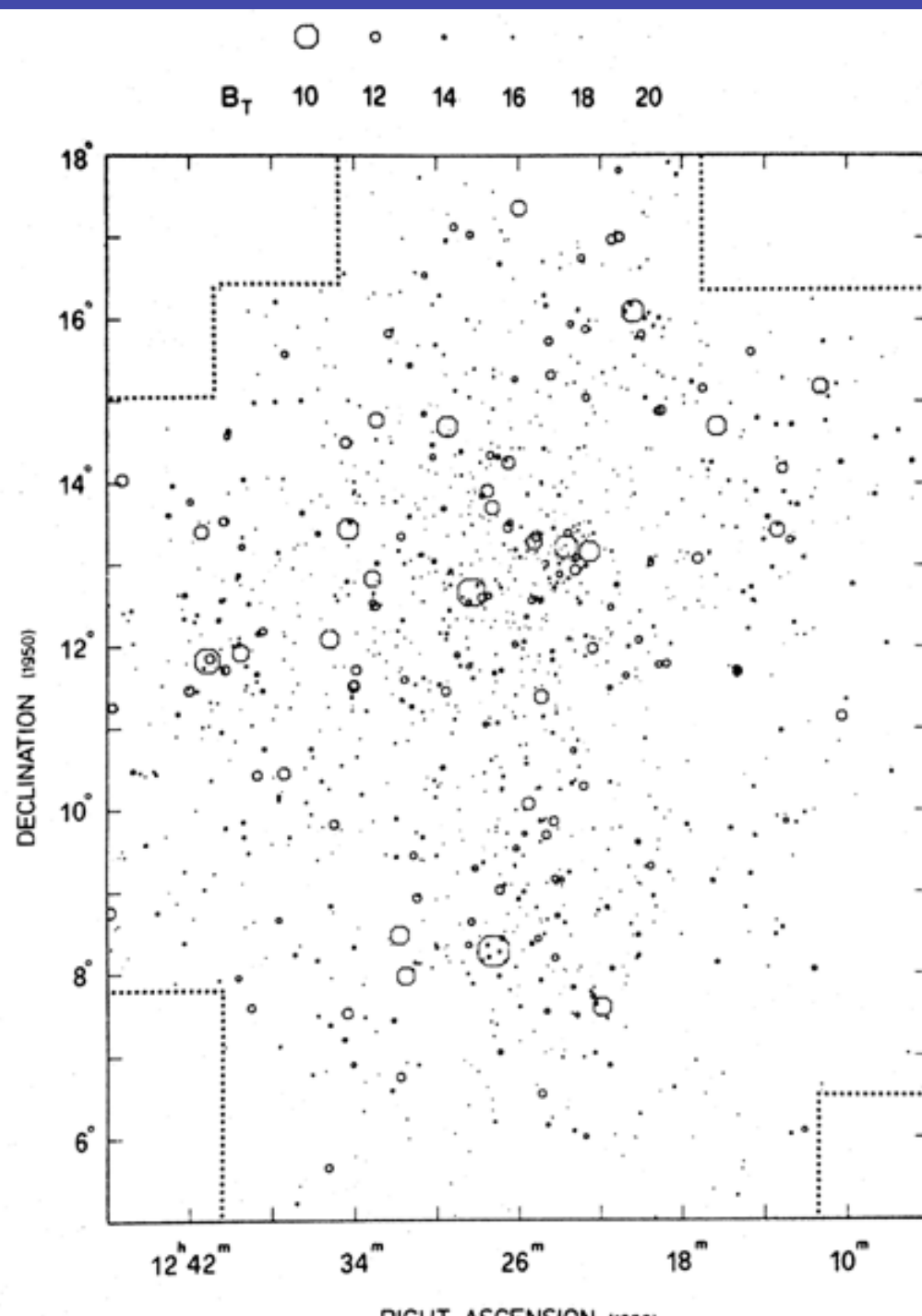
1. Неужели Вселенная не может быть вечной и в среднем оставаться все время такой же, чтоб все изменения носили бы лишь локальный характер?
2. Почему галактики удаляются именно от нас?
3. Действительно ли Вселенная расширяется, может есть другие объяснения красному смещению?
4. Если Вселенная расширяется, то из какой точки началось расширение?
5. Что собственно расширяется? Расширяются ли галактики? Звезды? Атомы?
6. Если по закону Хаббла скорости растут с расстоянием, то как быть с предельной скоростью света?
7. Что существовало до того, как появились первые звезды и галактики?
8. Может ли материя сжиматься в расширяющейся вселенной?
9. Что такое «Тёмные века»?
10. Что было до начала расширения?

Структура Вселенной:

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

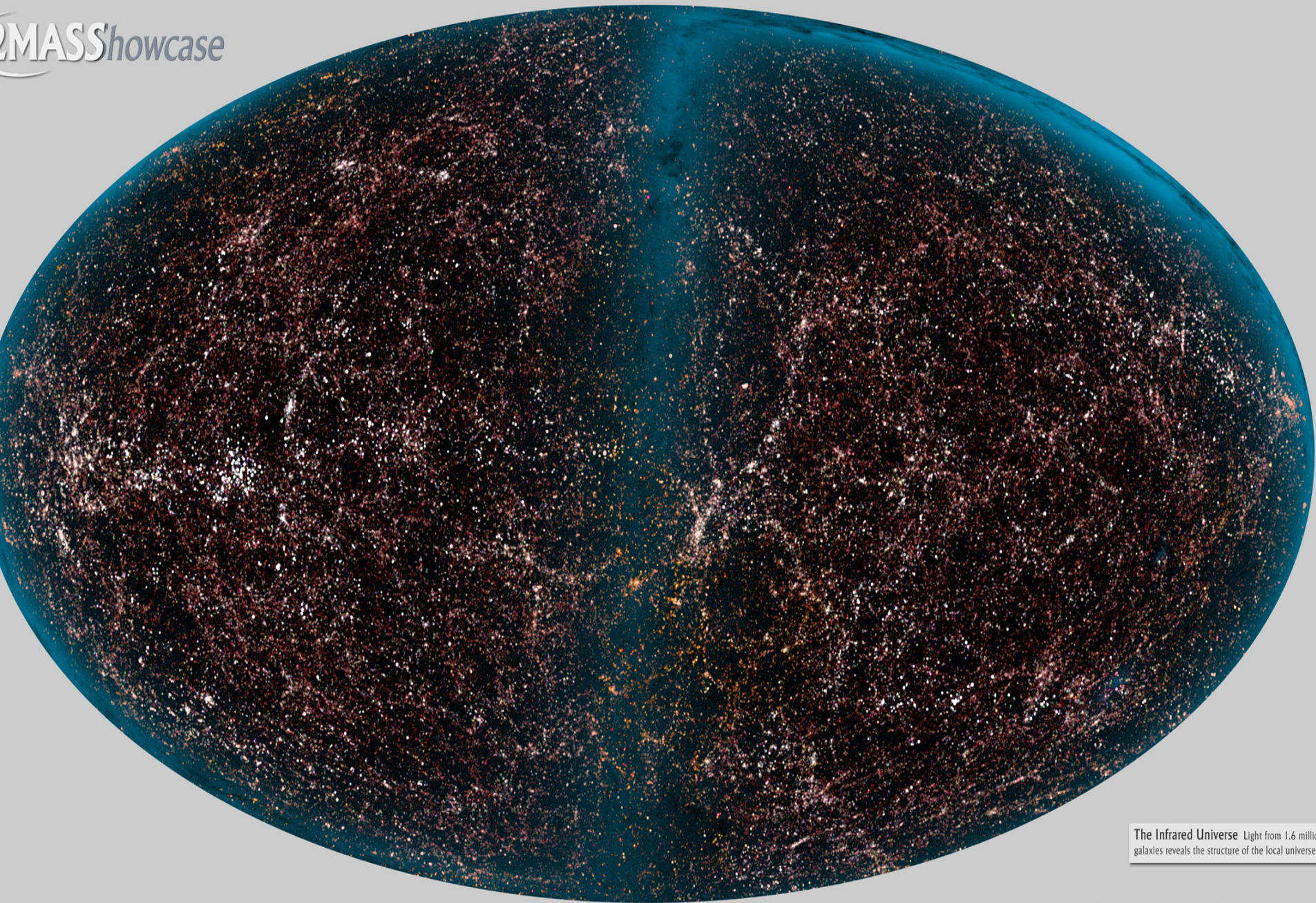
Ближайшее скопление

- Созвездие Девы (Virgo)
- Расстояние: 15-18 мегапарсек
- Число галактик: несколько тысяч
- Ярчайшая галактика – Е-галактика М87



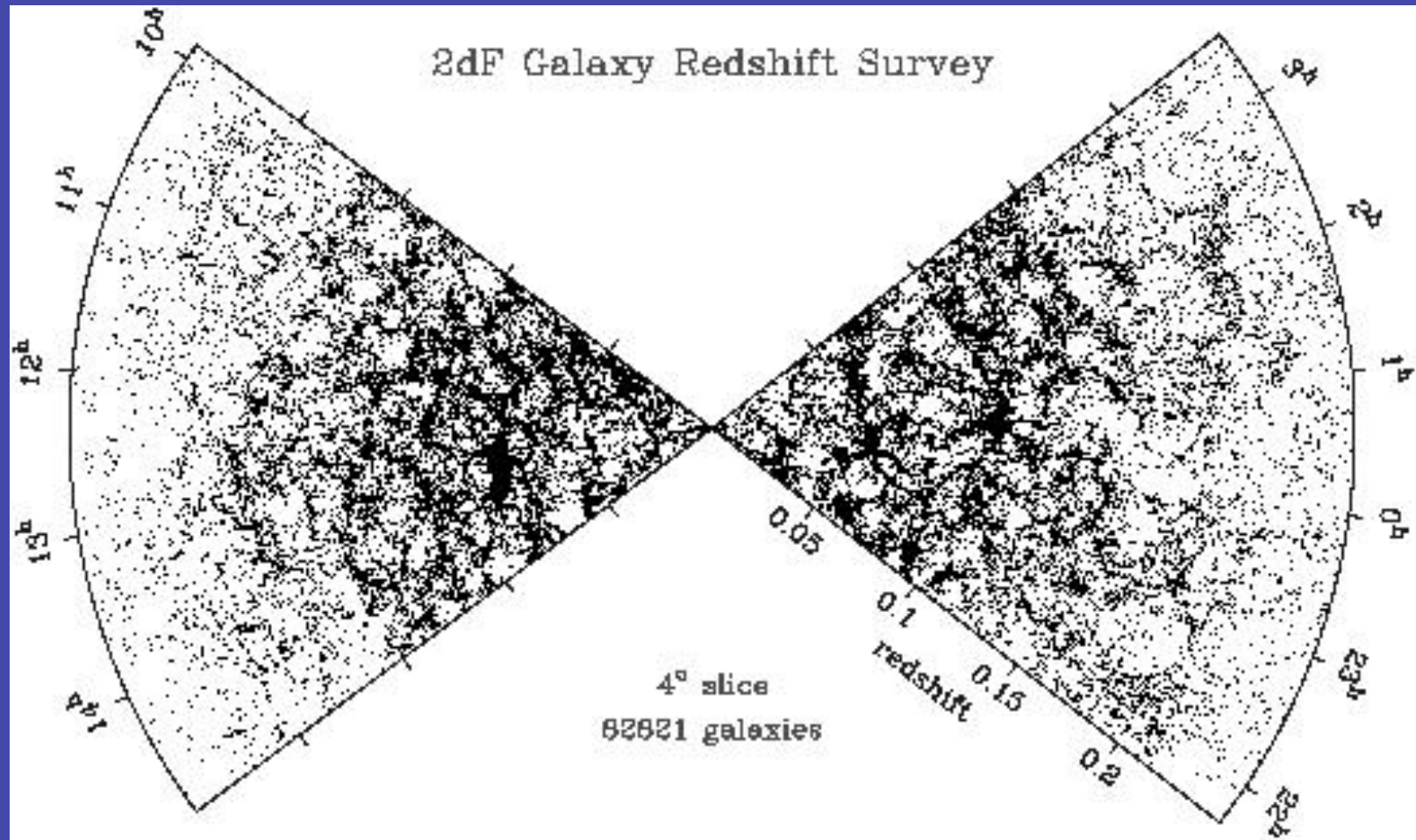






The Infrared Universe Light from 1.6 million galaxies reveals the structure of the local universe

Крупномасштабная структура в распределении галактик до расстояния 1000 мегапарсек





- Максимальный размер неоднородностей в распределении галактик и их скоплений: 100-200 Мпк
- *1 Мпк – примерно 3 млн свет. лет.*

ВОПРОС

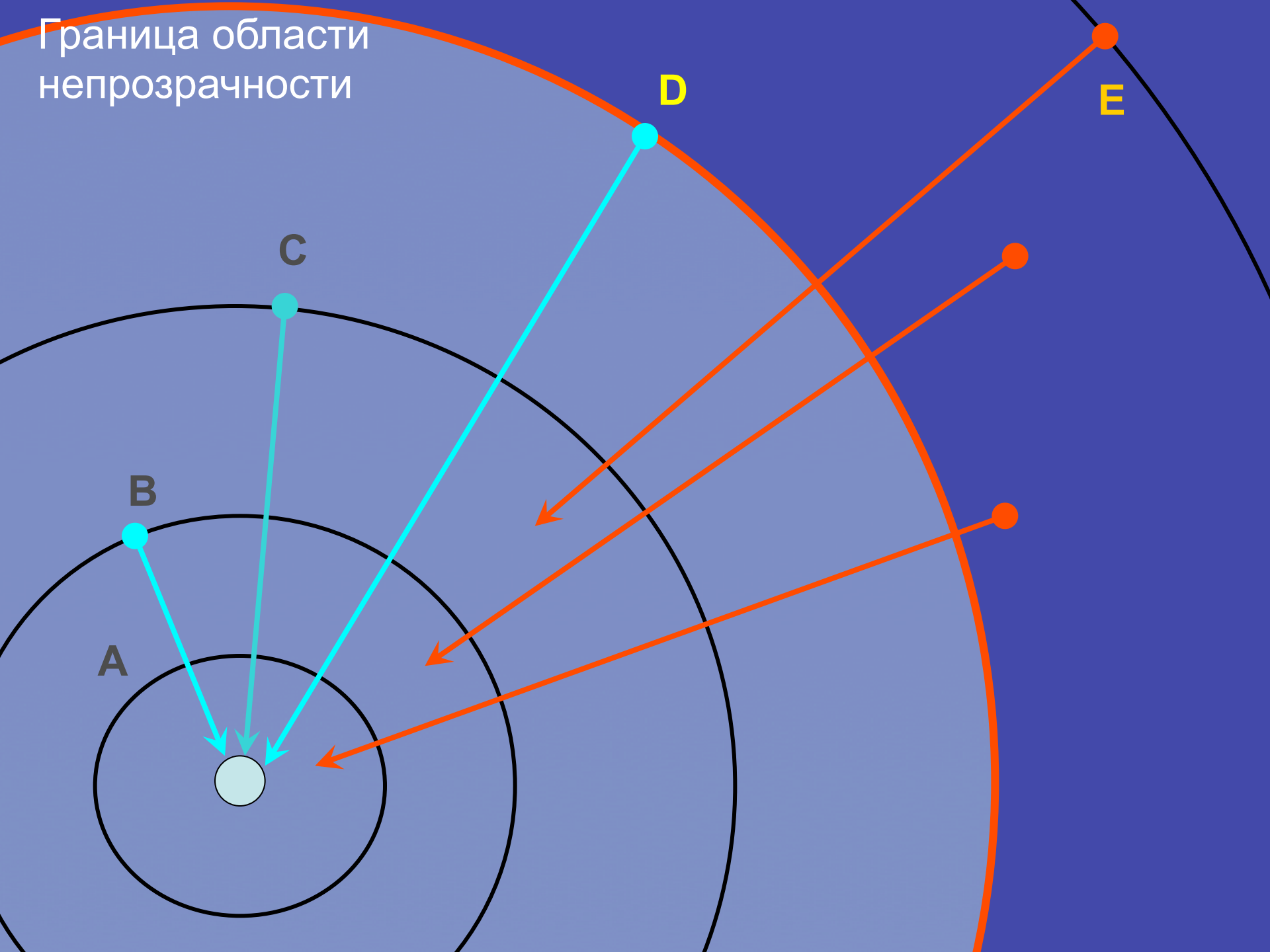
- Вселенная безгранична или имеет границу? А во времени?

- Вселенная безгранична, но область пространства, доступная для прямых наблюдений, всегда для нас будет конечной, хотя и непредставимо большой.

Почему?

- Потому что мы можем наблюдать окружающий мир только до таких расстояний, до которых он остается прозрачным для принимаемого нами излучения.
- На больших расстояниях мы непременно должны дойти до непрозрачности, потому что из-за расширения Вселенной вещество в прошлом было многократно плотнее.

Граница области
непрозрачности



Свидетельства эволюции Вселенной

- Отсутствие звезд с возрастом, превышающим продолжительность расширения Вселенной
- Отсутствие полного круговорота звездного вещества, и, как следствие, уменьшение запасов газа в галактиках со временем
- Низкое содержание тяжелых элементов в старых звездах
- Отсутствие яркого свечения ночного неба: фотометрический парадокс
- Очень далекие галактики отличаются от сравнительно близких (структура, размер, химический состав газа)

Две причины отсутствия фотометрического парадокса

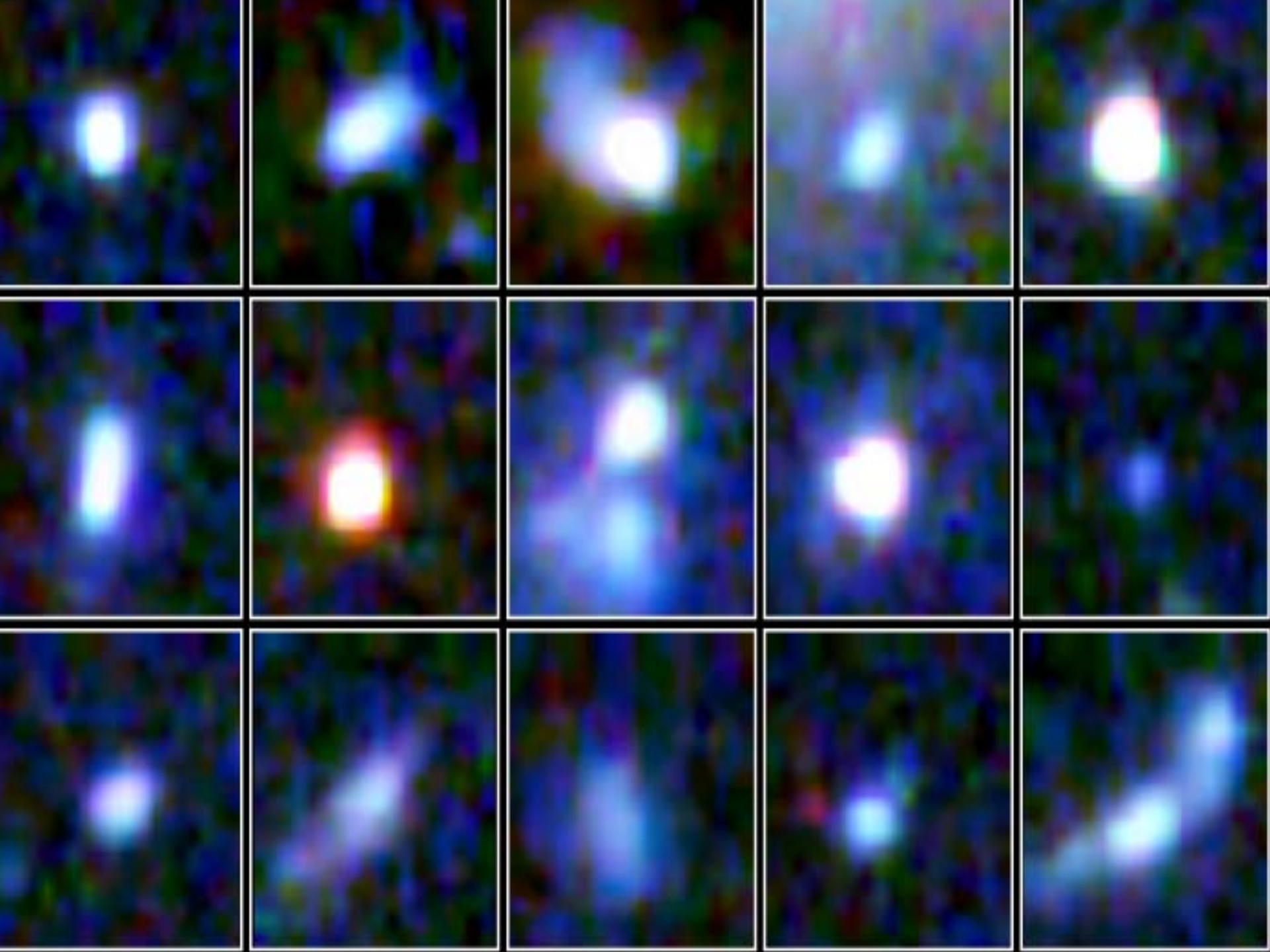
- 1. Конечность объема наблюдаемой звездной Вселенной,
- 2. Потеря энергии фотонами: $h\nu = h\nu_0 / (1+z)$,

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



HUDF09



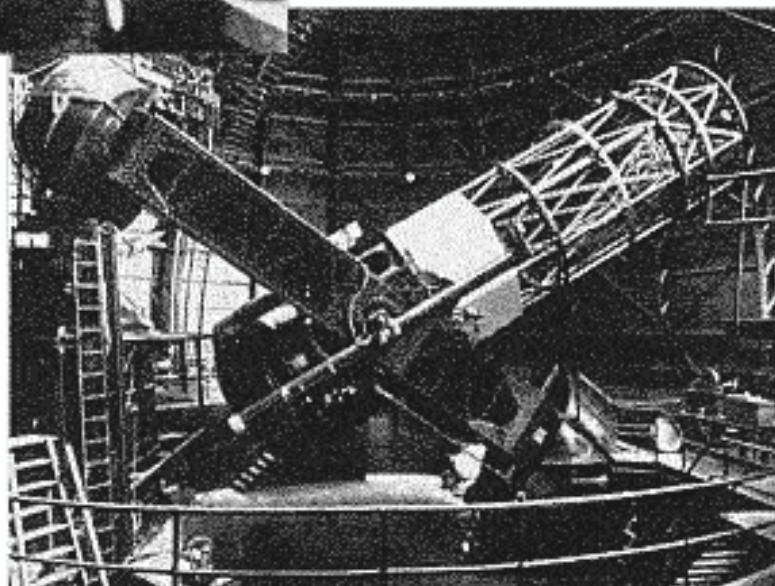
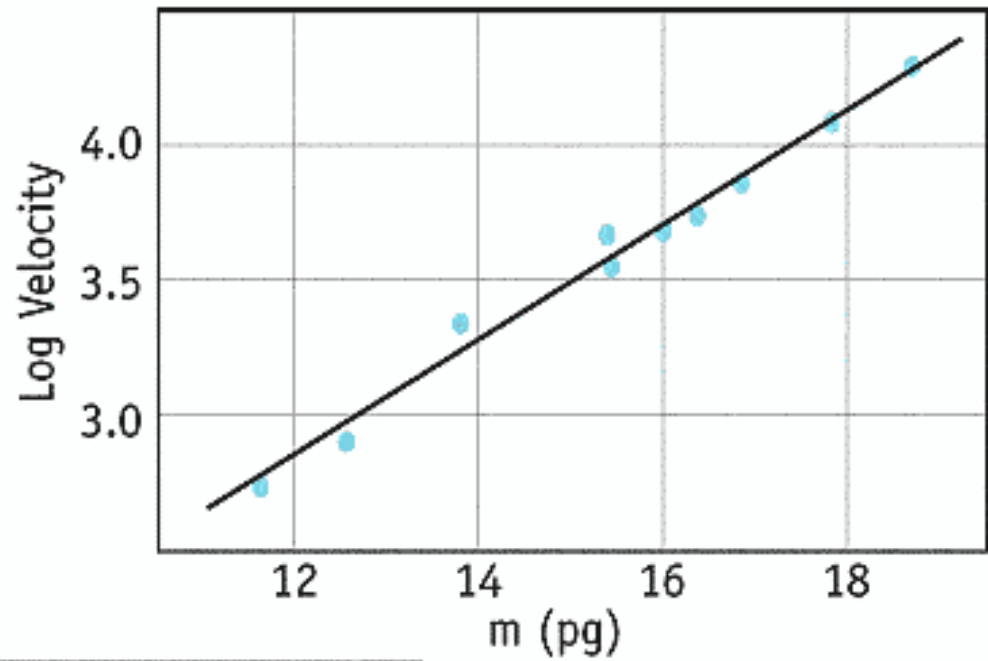


Начало современной космологии

- Создание общей теории относительности (А.Эйнштейн)
- Предсказание нестационарности Вселенной (А.Фридман)
- Открытие разбегания галактик (Э.Хаббл)
- Постоянная Хаббла $H_0 \sim 70 - 72$ км/с/кпк
- $1/H_0$ – «возраст Вселенной» ~ 14 млрд лет



Edwin Hubble



Mt. Wilson
100 Inch
Telescope

$$H_0 = 71 \text{ км/с/мпк}$$

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

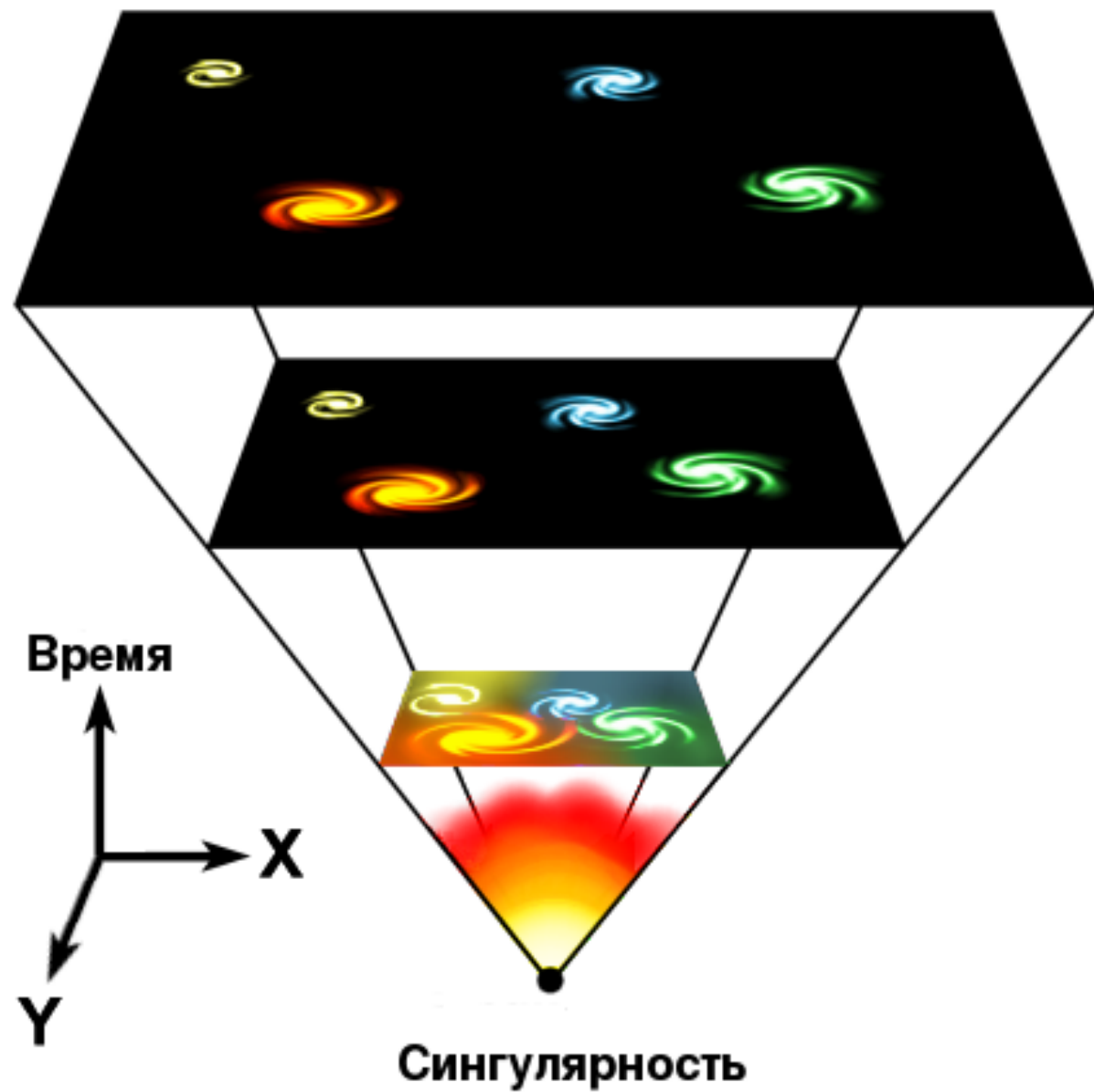
12.7

8.0

13.0

10.0

13.2



1. Какой физический смысл имеет сингулярность?

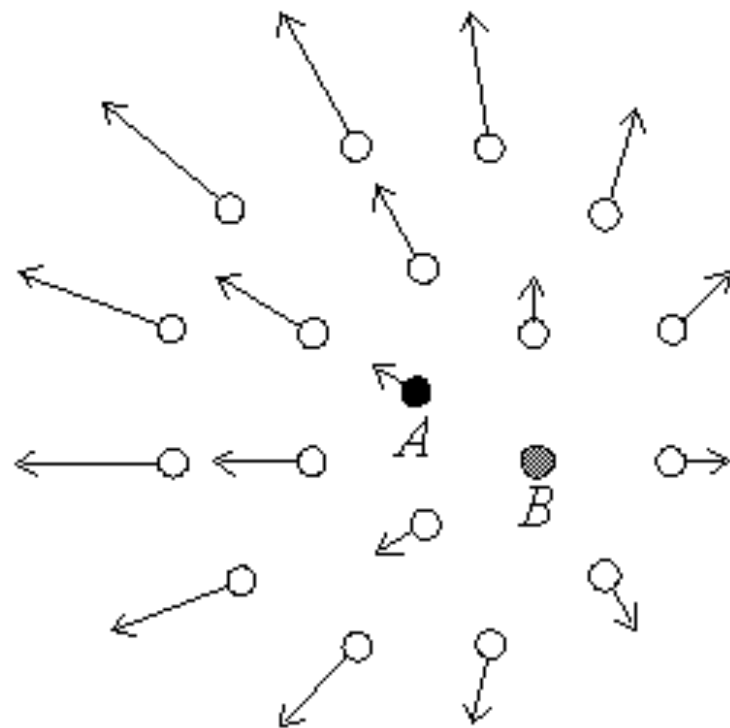
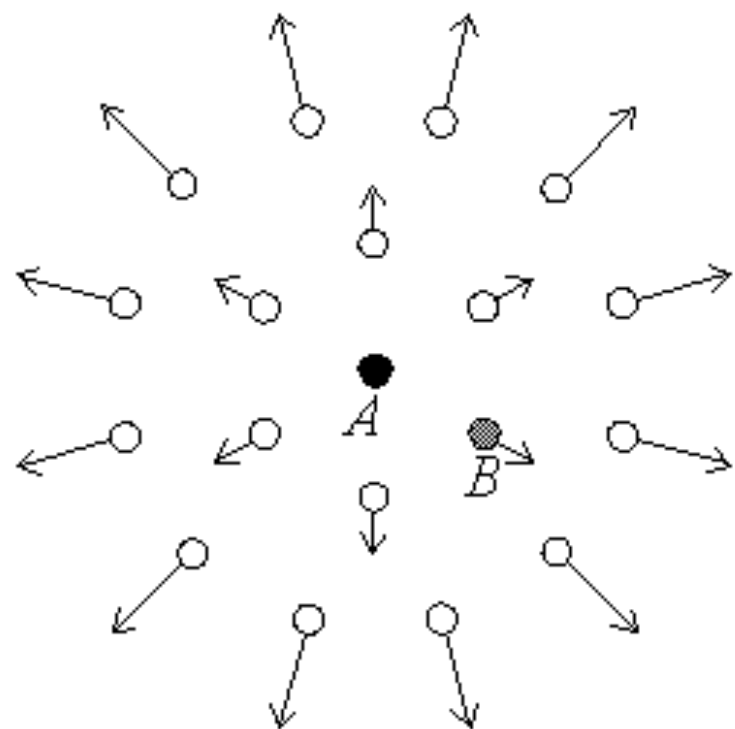
2. Правильно ли называть расширение вселенной взрывом?

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

Похоже на Большой Взрыв?



Занимаем ли мы особое место?

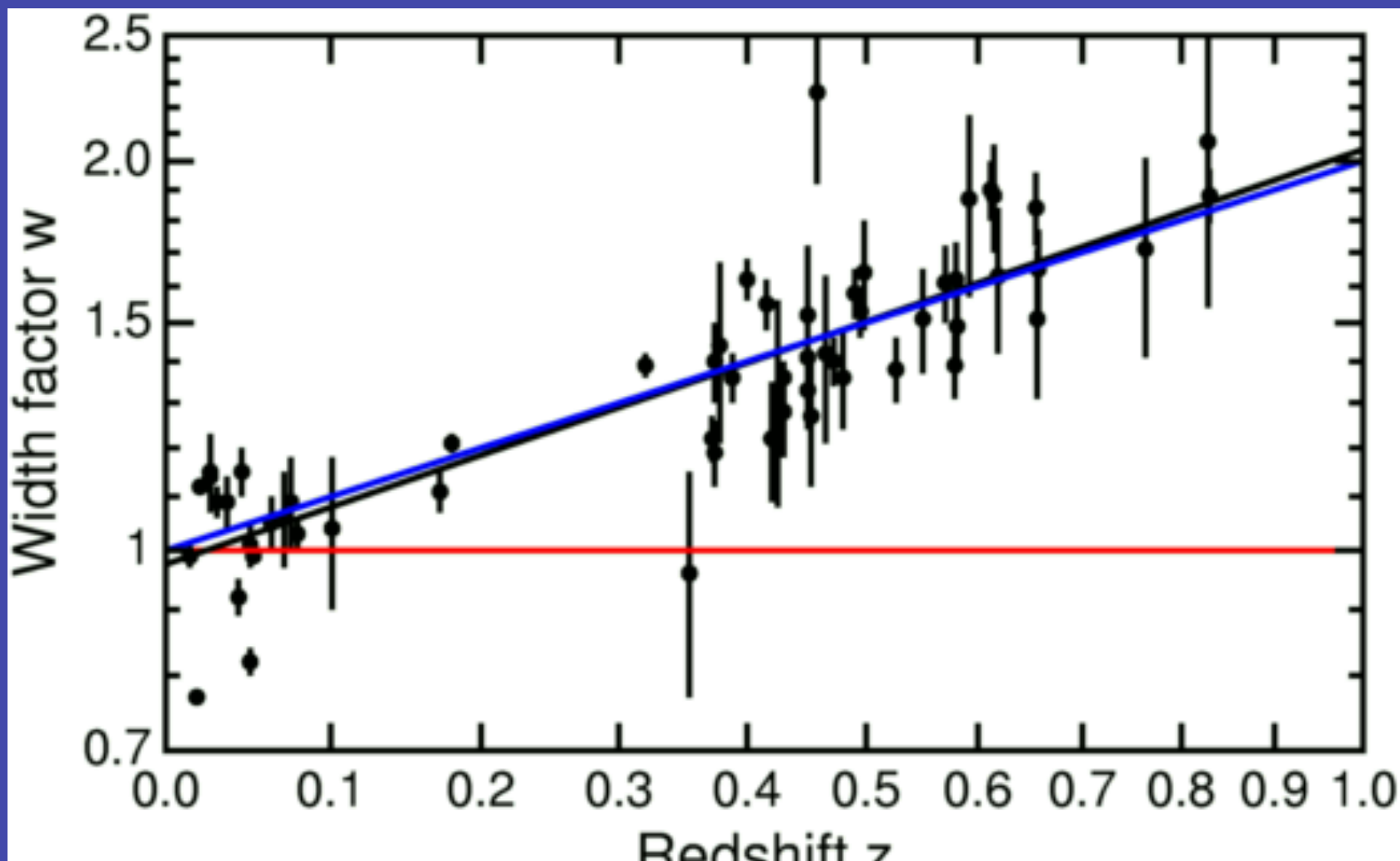


- Может, расширение – иллюзия?
- Просто фотоны со временем как-то теряют свою энергию («старение» фотонов)

Некоторые обстоятельства против этого:

- а) спектр фонового излучения
- б) отсутствие размытия изображений
- в) независимые СВИДЕТЕЛЬСТВА
РАСШИРЕНИЯ ВСЕЛЕННОЙ – ПОМИМО
ЗАКОНА ХАББЛА.

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



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

1

6
billion
years

4

1.5
billion
years

5

6

7

800
million
years

8

10

480
million
years

>20

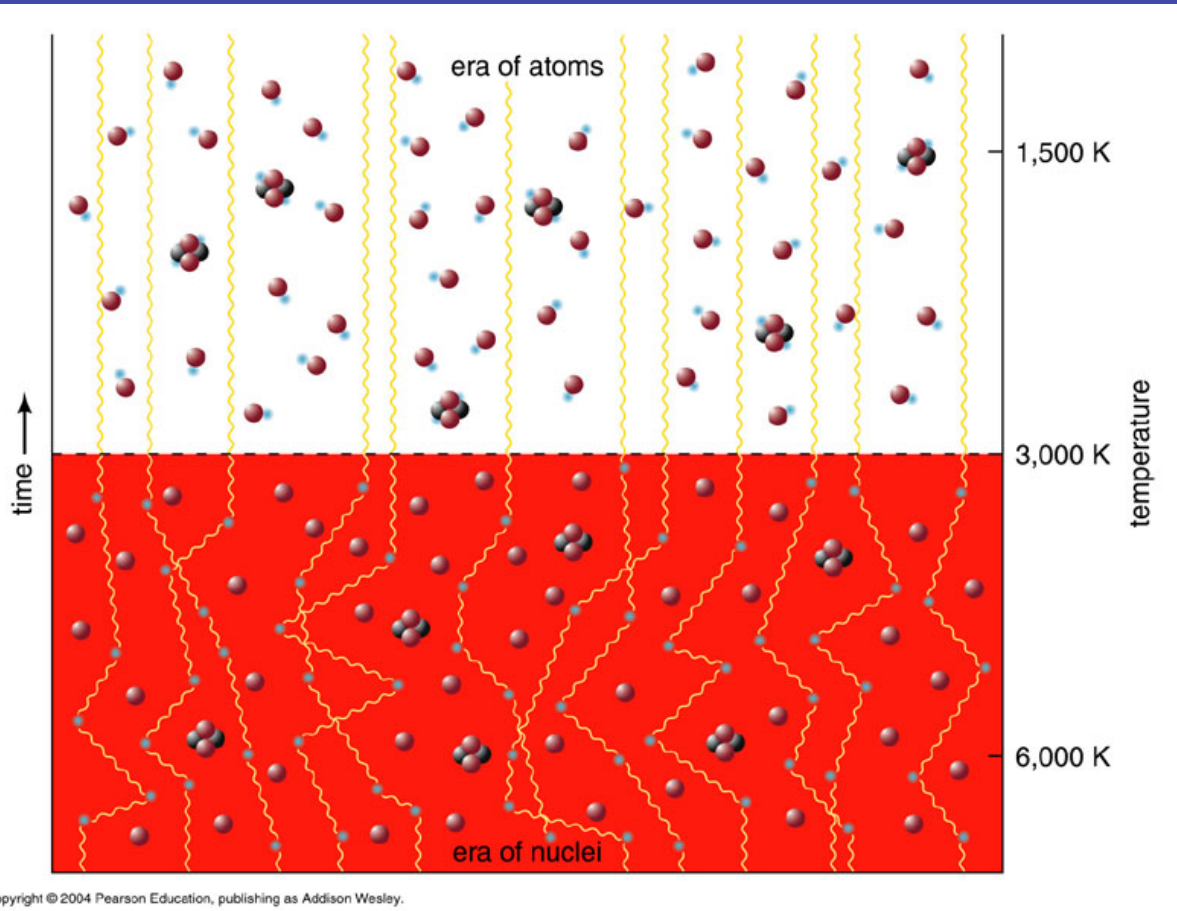
200
million
years

Где же непрозрачность пространства, мешающая видеть дальше?

- $Z \sim 1000$,
- 380 тысяч лет после начала расширения
- Средняя плотность в $(1+z)^3$ = миллиард раз выше современной (как плотность современного межзвездного газа в Галактике)

Рекомбинация водорода

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

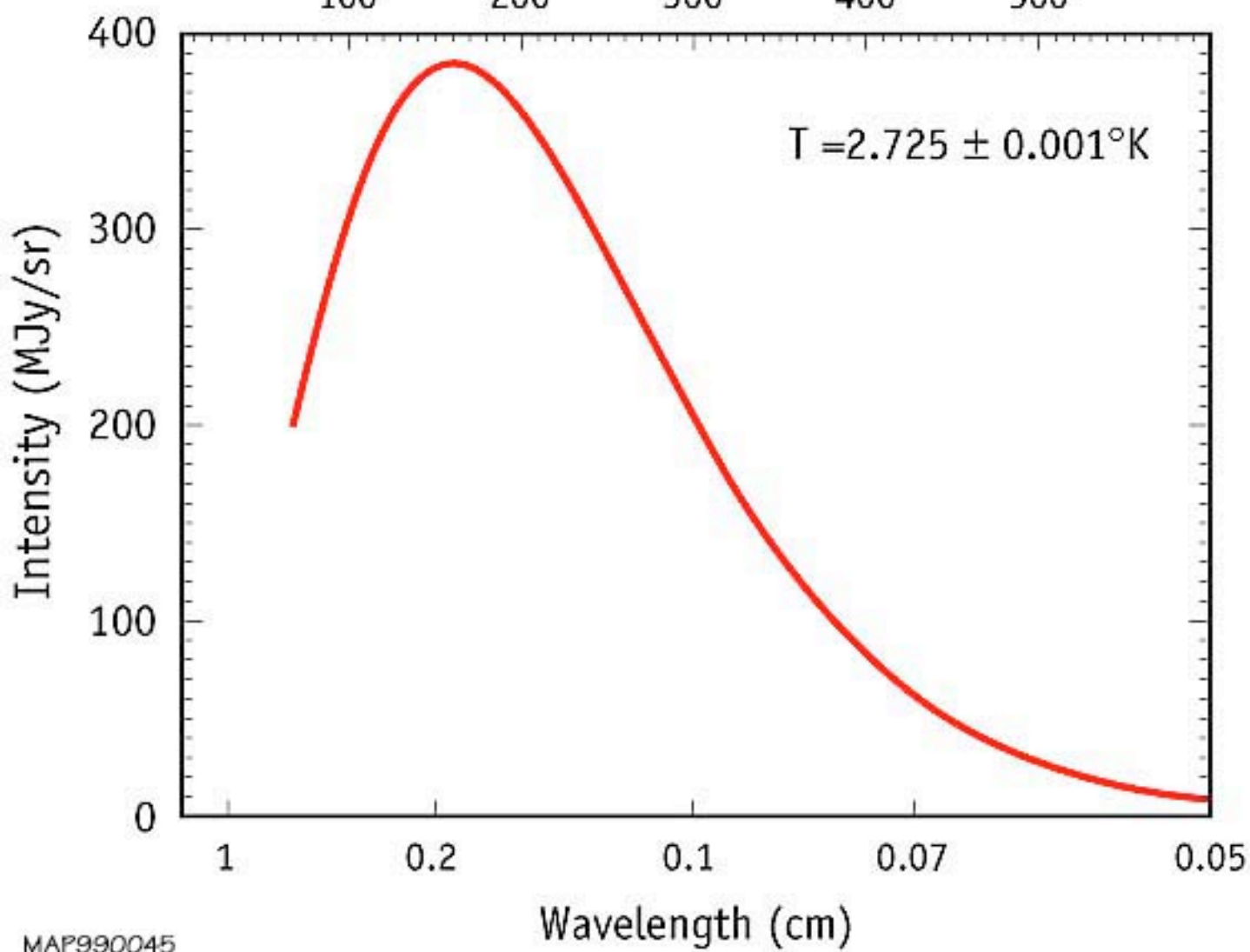


Происходит при
 $T \sim 3000$ K

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

После
рекомбинации
Вселенная
прозрачна для
фотонов

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

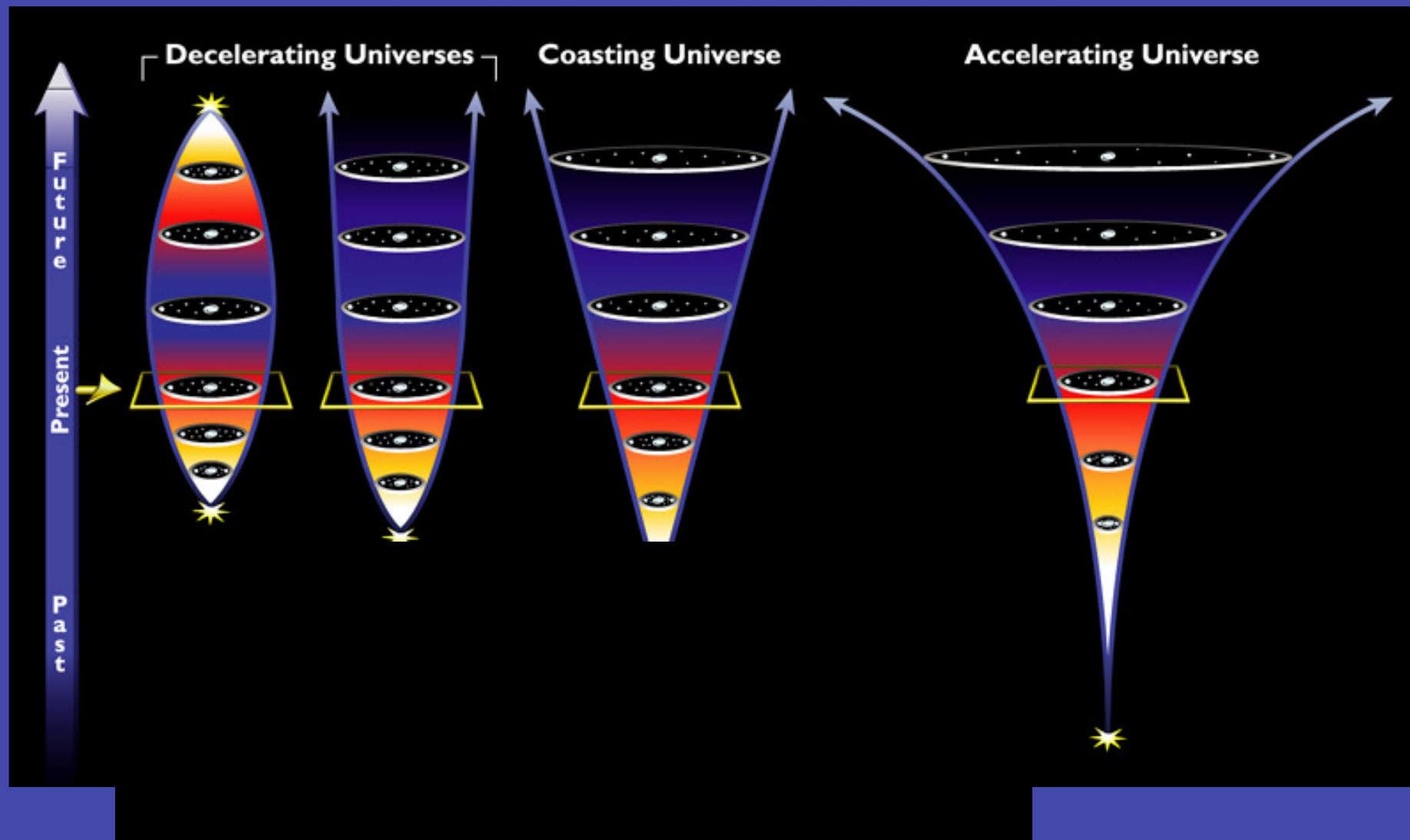


Спектр фонового (реликтового)
излучения

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

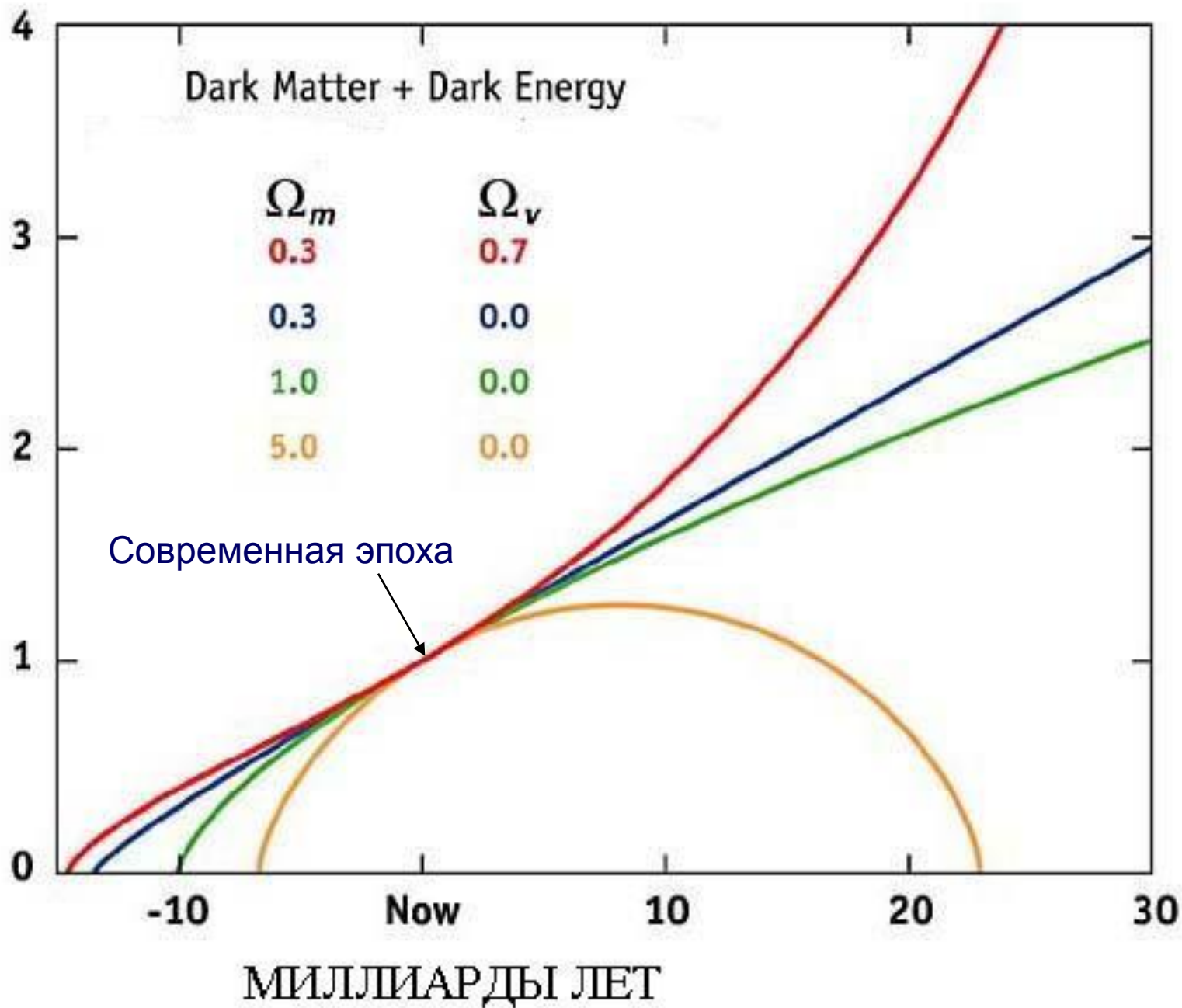


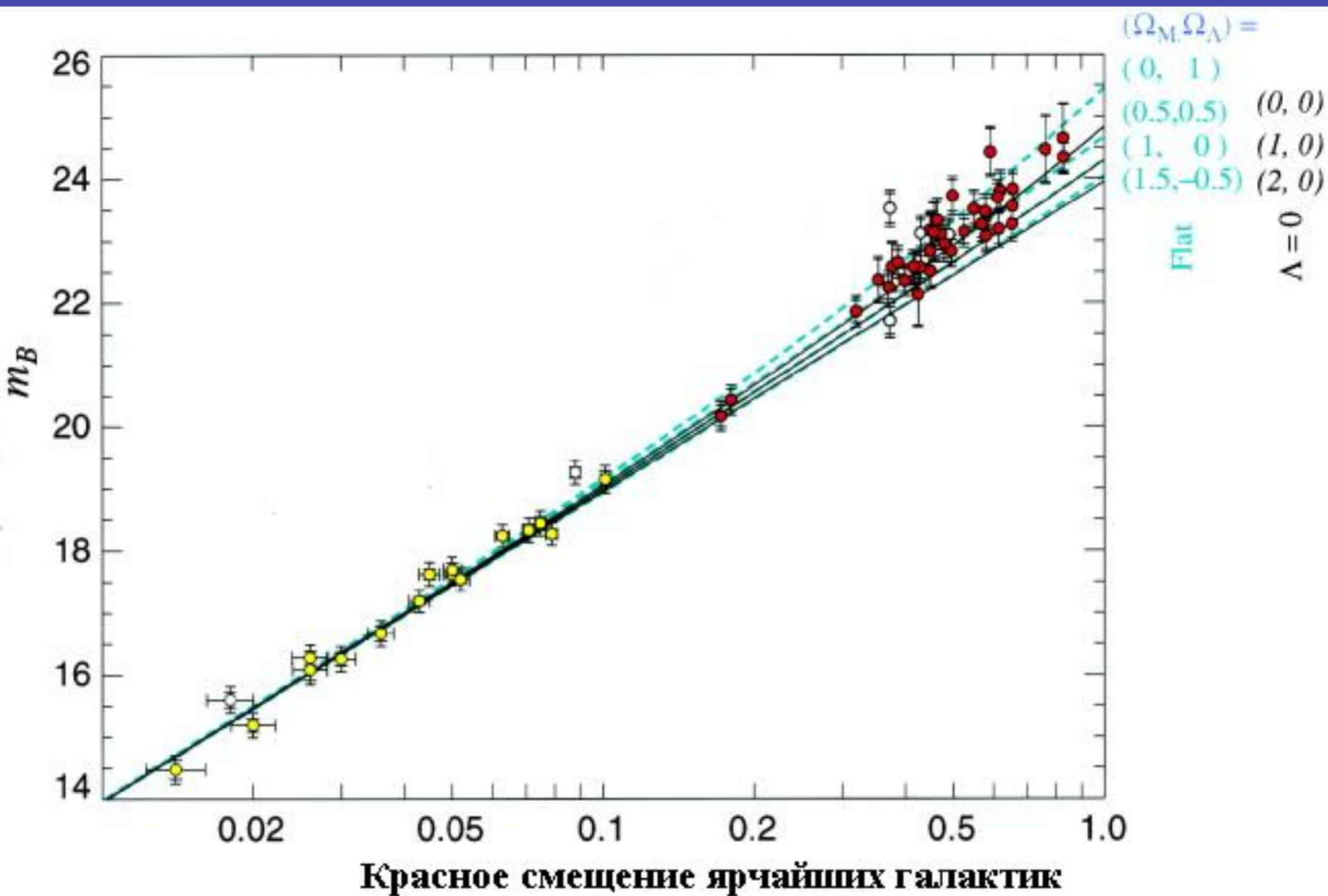
Возможные модели расширения





Среднее расстояние между галактиками





Три удивительных свойства темной энергии

- Эта материя не может скучиваться, образуя однородную среду
- Действие на обычную материю эквивалентно антигравитации (отсюда – ускоренное расширение)
- Плотность не меняется со временем: в ранние эпохи ее действие было пренебрежимо мало.

РЕЗУЛЬТАТ:

- Расширение сначала замедлялось, затем стало ускоряться
- И все же темная энергия – это пока гипотеза, а не установленный факт

Как меняется плотность (энергия) вещества и энергия излучения с красным смещением?

- Число любых частиц в единице объема (включая число фотонов) $\sim (1+z)^3$
- Длина волны излучения $\sim 1/(1+z)$
- Энергия каждого фотона $= h\nu = hc/\lambda \sim (1+z)$
- Плотность энергии излучения $\sim (1+z)^3 \cdot (1+z) = (1+z)^4$
- Плотность энергии вещества пропорциональна его плотности $\sim (1+z)^3$.

На больших z эра вещества когда-то сменила эру излучения

Некоторые термины из физики элементарных частиц

- Лептоны – наиболее легкие частицы, не участвующие в ядерном взаимодействии (электроны, ионы, нейтрино).
- Адроны- массивные частицы, участвующие в ядерных взаимодействиях (барионы, мезоны)
- Барионы- разновидность адронов. Наиболее легкие и стабильные барионы – это протоны и нейтроны. Их называют нуклоны. Из них состоят ядра атомов.
- Формирование ядер атомов из нуклонов называют нуклеосинтезом

Любое вещество, состоящее из атомов, называют барионной материей

ЭРА	Время с начала расширения
Инфляционное расширение	10^{-32} с
Энергия частиц порядка самых высоких энергий, достигнутых на ускорителях	10^{-10} с
Адронная эра (аннигиляция протонов и антипротонов)	10^{-6} с – 10^{-4} с
Пространство прозрачно для нейтрино	0.1-1 с
Эра нуклеосинтеза	Несколько минут
Эра вещества	10 тыс.лет и позднее
Рождение фонового (реликтового) излучения. Начало темных веков	380 тыс. лет
Начало формирования звезд и галактик. Ионизация газа	0.5 млрд лет
Рождение Солнца и планет	9 млрд лет
Текущий момент	Около 14 млрд.лет

