

Большой Взрыв

Рождение Вселенной
из сингулярности

Эпоха Сверхобъединения

4 типа взаимодействий:

- Гравитационное
- Электромагнитное
- Слабое (эл. частицы)
- Сильное (ядерное)

*Единое
Взаимодействие*

Классическая физика
Теория относительности
Квантовая механика

Неприменимы

Планковское время

(начало действия квантовой теории)

Время: 10^{-43} секунды

Температура: 10^{32} К

Плотность: 10^{93} г/см³

Радиус: 10^{-33} см

Рождение классического пространства-времени
Гравитация отделяется от других взаимодействий

Эпоха инфляции

Время: 10^{-43} – 10^{-36} секунды.

Температура: от 10^{32} до 10^{29} К.

Вселенная расширяется с ускорением за счет космологической «темной энергии»

По окончании эпохи инфляции:

Рождение вещества (при распаде «темной энергии»)

Отделение сильного взаимодействия от электрослабого

Эпоха горячего бариосинтеза

Время: 10^{-36} – 10^{-34} секунды.

Температура: 10^{29} – 10^{28} К.

Барионы (протоны, нейтроны) объединяются из кварков

Рождение избытка вещества над антивеществом (10^{-9})



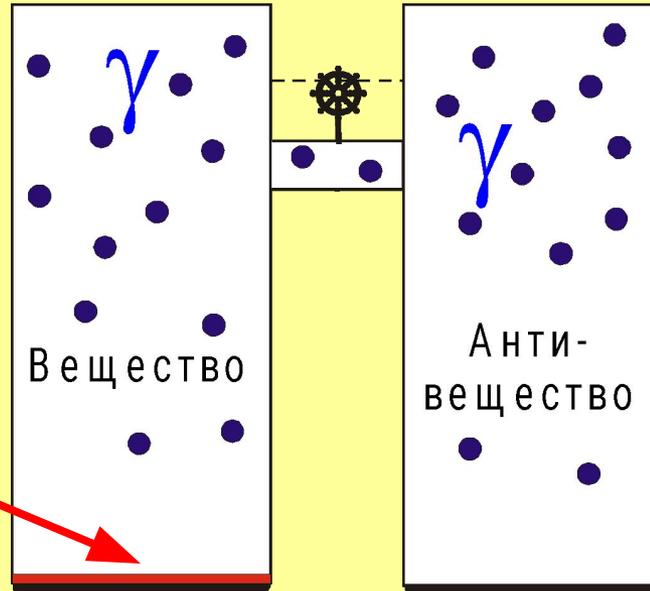
Эпоха холодного бариогенеза

Время: 10^{-13} – 10^{-10} секунды.

Температура: 10^{17} – 10^{16} К.

Разделение слабого и электромагнитного взаимодействий

Аннигиляция



*Бариионного
вещества
осталось
мало*

Эпоха нуклеосинтеза

Время: 1 – 200 секунд.

Температура: 10^{10} – 10^9 К.

Образование ядер ^2H , ^3He , ^4He , ^7Li , ^9Be , ^{11}B

^9Be и ^{11}B быстро разрушаются,
 ^2H , ^3He и ^7Li остается очень мало.

200 секунд: нуклеосинтез останавливается.

Барионный состав первичной Вселенной
представлен, в основном, только ^1H и ^4He .

От нуклеосинтеза до рекомбинации

Время: 200 секунд – 150 000 лет.

Температура: 10^9 – 4000 К.

Вселенная состоит в основном из излучения, но ионизованное вещество непрозрачно.

Излучение многократно поглощается и заново высвечивается. Содержащаяся в нем информация не доходит до современного наблюдателя.

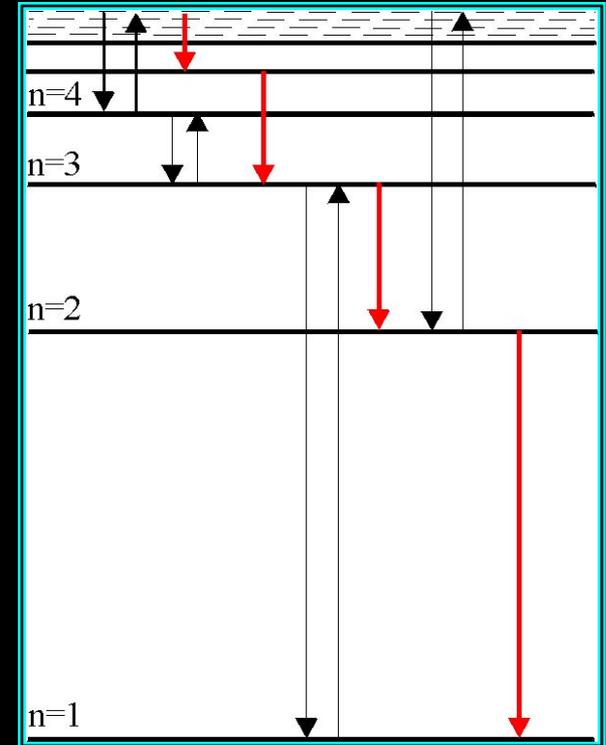
Эпоха рекомбинации

Время: 150 000 – 400 000 лет.

Температура: 4000 – 2500 К.

Температура излучения становится слишком малой, чтобы поддерживать ионизацию атомов.

Вещество рекомбинирует, становится нейтральным и прозрачным для излучения.

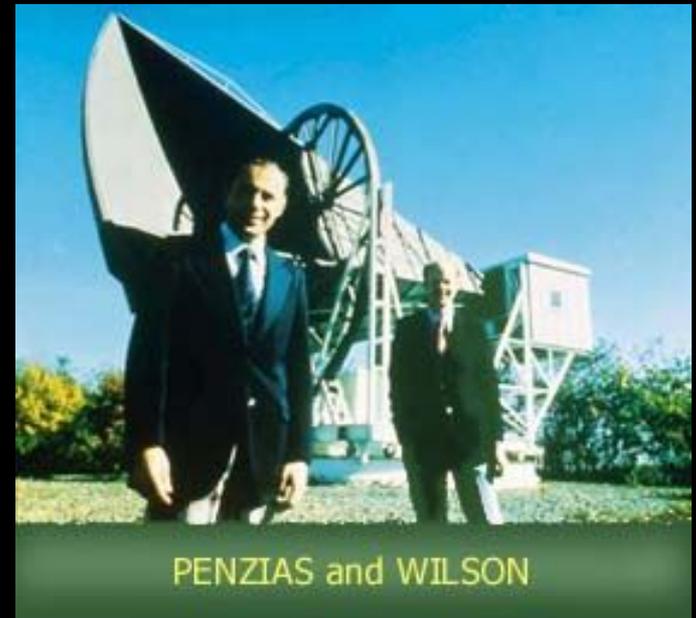


Реликтовое излучение

Изотропный радиофон с температурой 2.7 К, открытый в 1965 году.

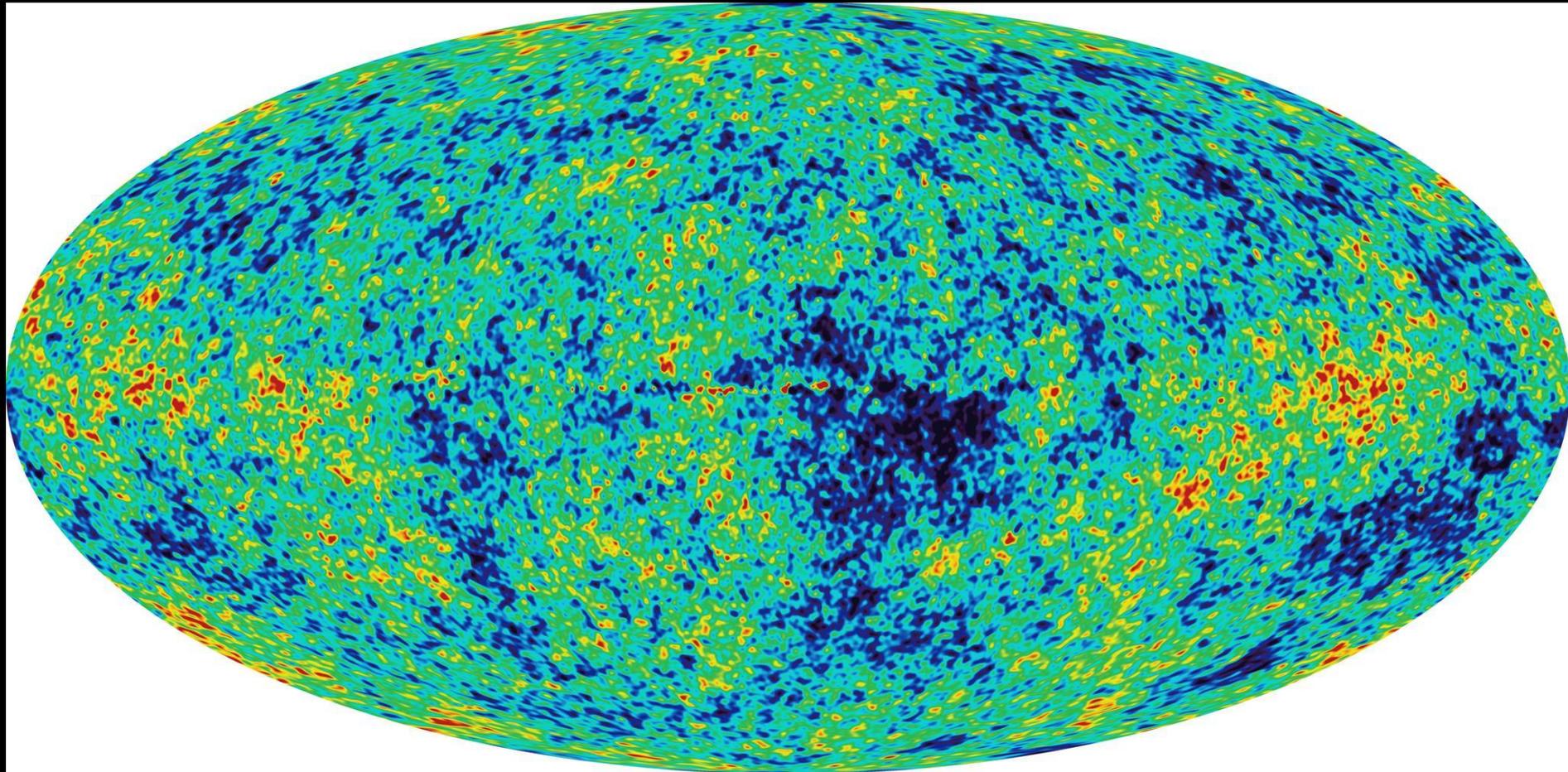
Является охлажденным в процессе расширения Вселенной космологическим фоном излучения

Реликтовое излучение – наблюдательная основа для построения всех космологических теорий, отголосок состояния Вселенной миллиарды лет назад.



Измерение пространственной структуры реликтового излучения

Эксперимент WMAP (Вилкинсоновские исследования анизотропии реликтового излучения, с 2003 года).



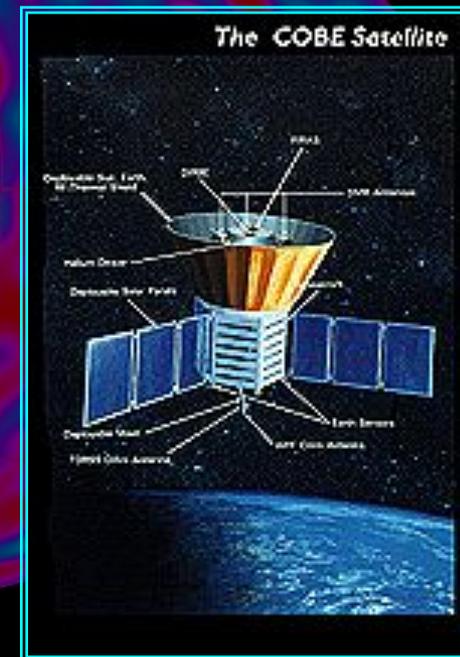
Анизотропия реликтового излучения

1984 – работа советского космического аппарата «Реликт».
(длина волны 8 мм, угловое разрешение 5.5°)

1992 – обнаружение анизотропии с вероятностью 90%
(И.А. Струков, А.А. Брюханов, Д.П. Скулачев, М.В. Сажин,
ИКИ РАН, ГАИШ МГУ).

1989 – запуск американского аппарата COBE
(Cosmic Background Explorer, 1.25 – 240 мкм,
угловое разрешение 7°).

1992 – обнаружение анизотропии



Анизотропия реликтового излучения

2006 – присуждение Нобелевской премии по физике за открытие теплового спектра и анизотропии микроволнового фонового излучения.

Observed Sky

Anisotropy



Программа COBE



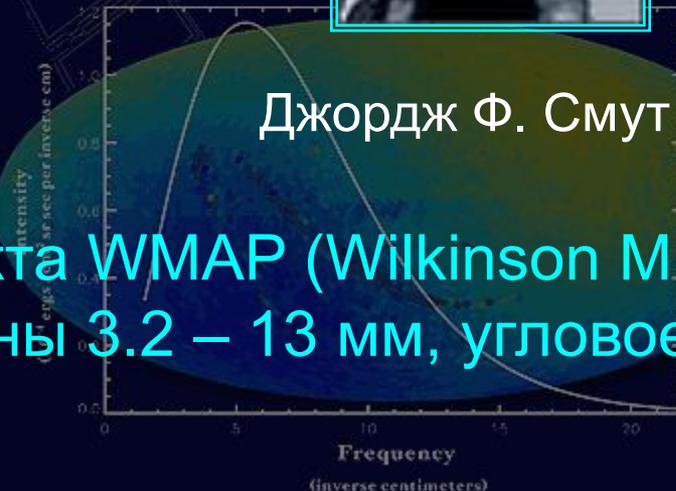
Джон С. Мейзер

Джордж Ф. Смут

2003 – начало работы проекта WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe, длина волны 3.2 – 13 мм, угловое разрешение 13').

Extragalactic Background

Spectrum



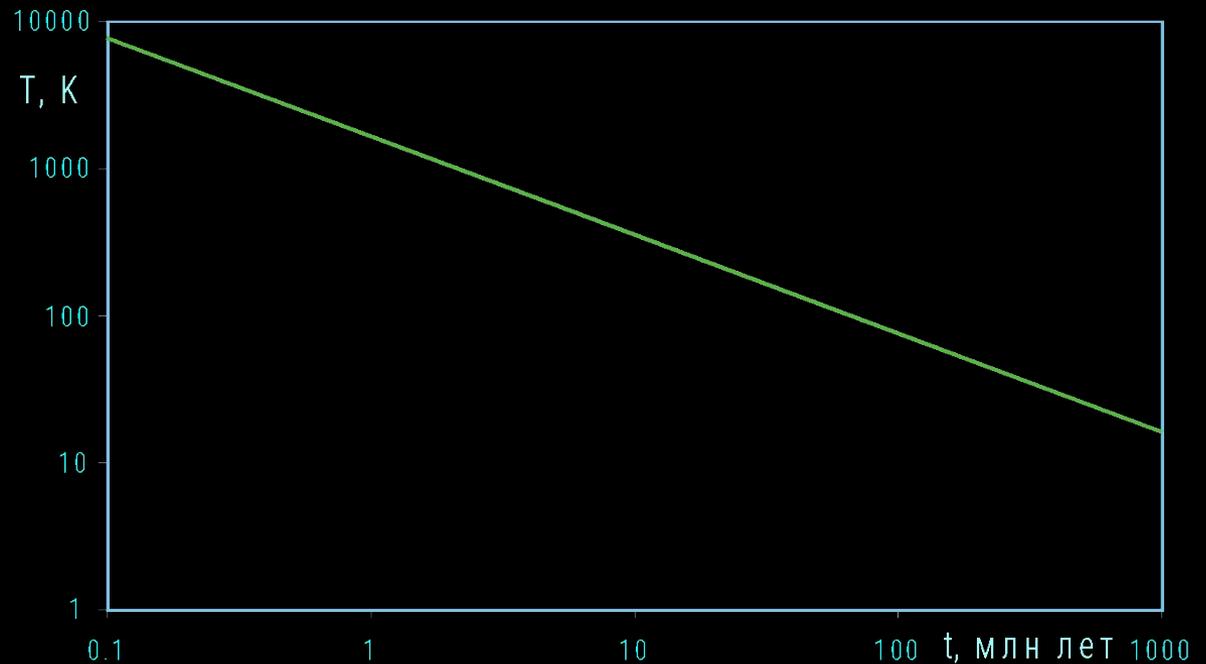
Темные века

Время: 400 тысяч – 500 миллионов лет

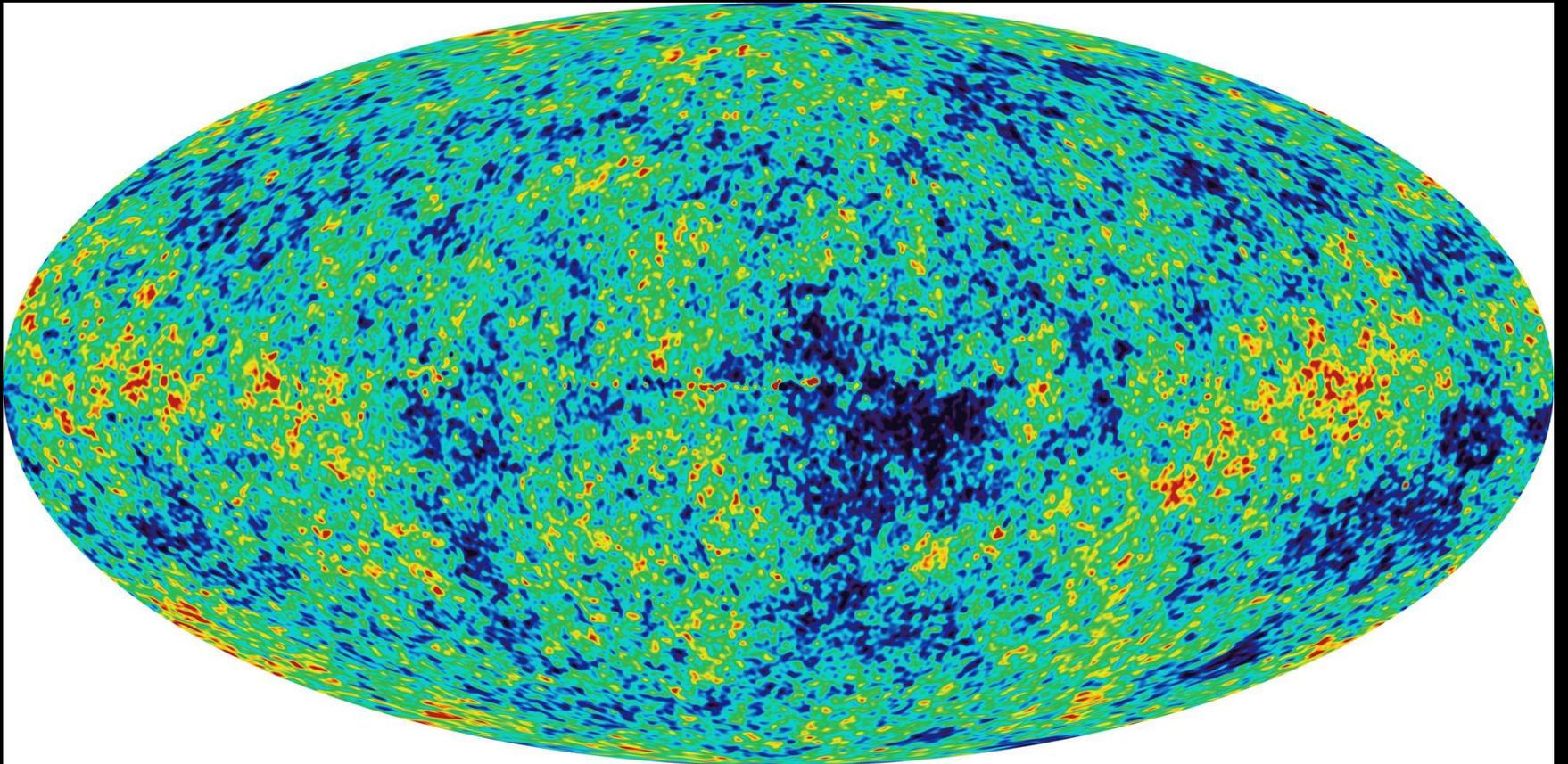
Температура: 2500 – 25 К.

Звезд и галактик нет, вещество нейтрально

Виден только постепенно остывающий реликтовый фон,
уходящий из видимой в инфракрасную и субмиллиметровую
область спектра

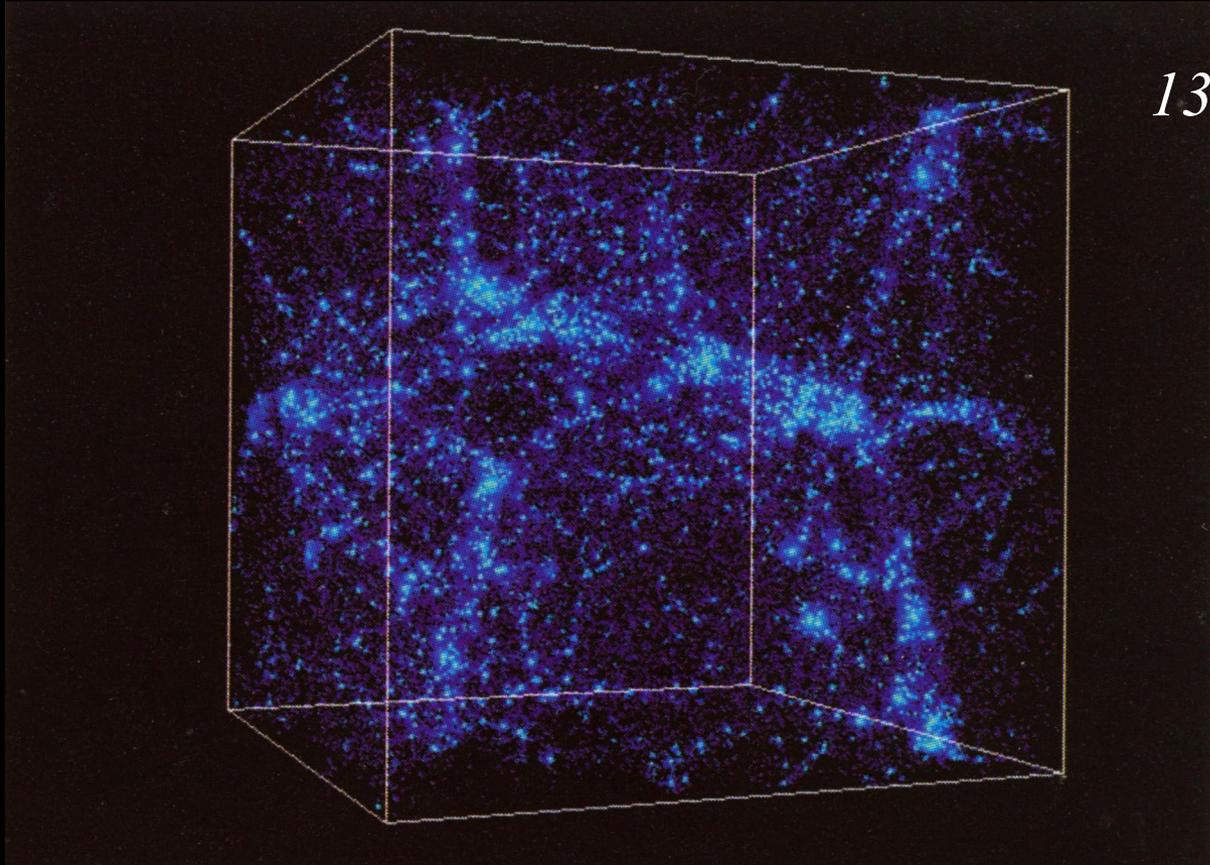


Неоднородность вещества



Гравитационная неустойчивость

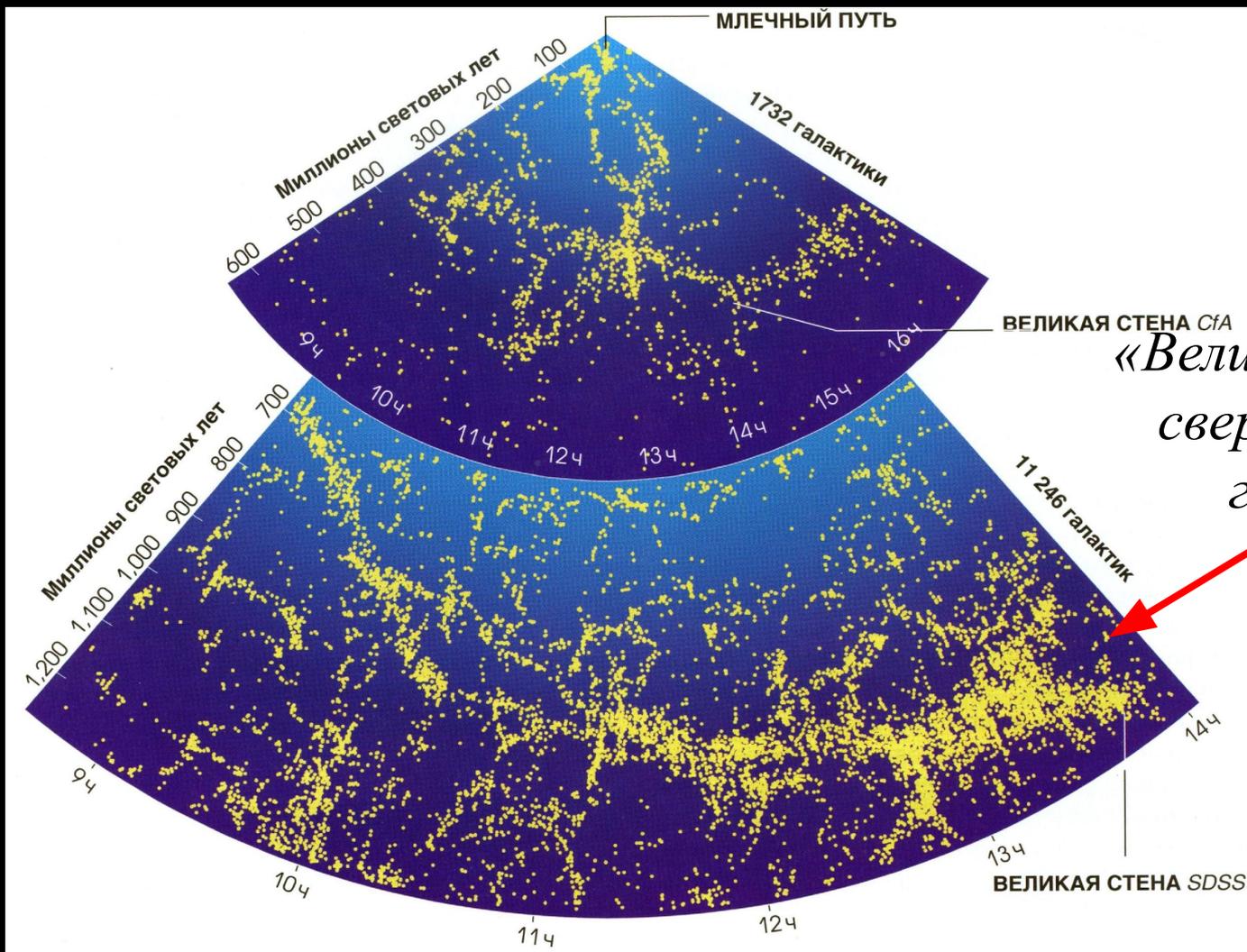
Области повышенной плотности далее сжимаются под действием собственной тяжести



13.7 млрд лет

Появление скоплений и сверхскоплений галактик

Крупномасштабная структура Вселенной



Вселенная – мир галактик



«Глубокое поле» Космического телескопа имени Хаббла

Расстояние – до миллиарда световых лет

Галактики – гигантские системы из миллиардов звезд, заполняющие Вселенную.



Эллиптические галактики

*Самые старые из наблюдаемых галактик:
Нет газа, нет пыли, нет молодых звезд.*

Галактика M87 в созвездии Девы, расстояние 55 млн св. лет

Спиральные галактики

В диске наблюдается спиральная структура, в которой много газа, из которого образуются молодые звезды

*Галактика М81 в созвездии Большой Медведицы,
расстояние 5 млн св. лет.*

Пыль в дисках галактик

Мельчайшие твердые частицы,
поглощающие излучение

Пыль свидетельствует о богатом
содержании тяжелых элементов
и является основой образования
планетных систем

*Но откуда взялись
тяжелые элементы?*

Галактика М64 в созвездии Волос Вероники, раст. 13 млн св. лет

Неправильные галактики

*В некоторых – интенсивное звездообразование.
Механизм – гравитационная неустойчивость, рост
флуктуаций плотности.*

Большое Магелланово Облако, расстояние 150 тыс. св. лет.

Ближайшие спиральные галактики

*М31 – Туманность Андромеды,
расстояние 2.5 млн св. лет.*



*М33 – Туманность Треугольника,
расстояние 2.5 млн св. лет*

Взаимодействие галактик

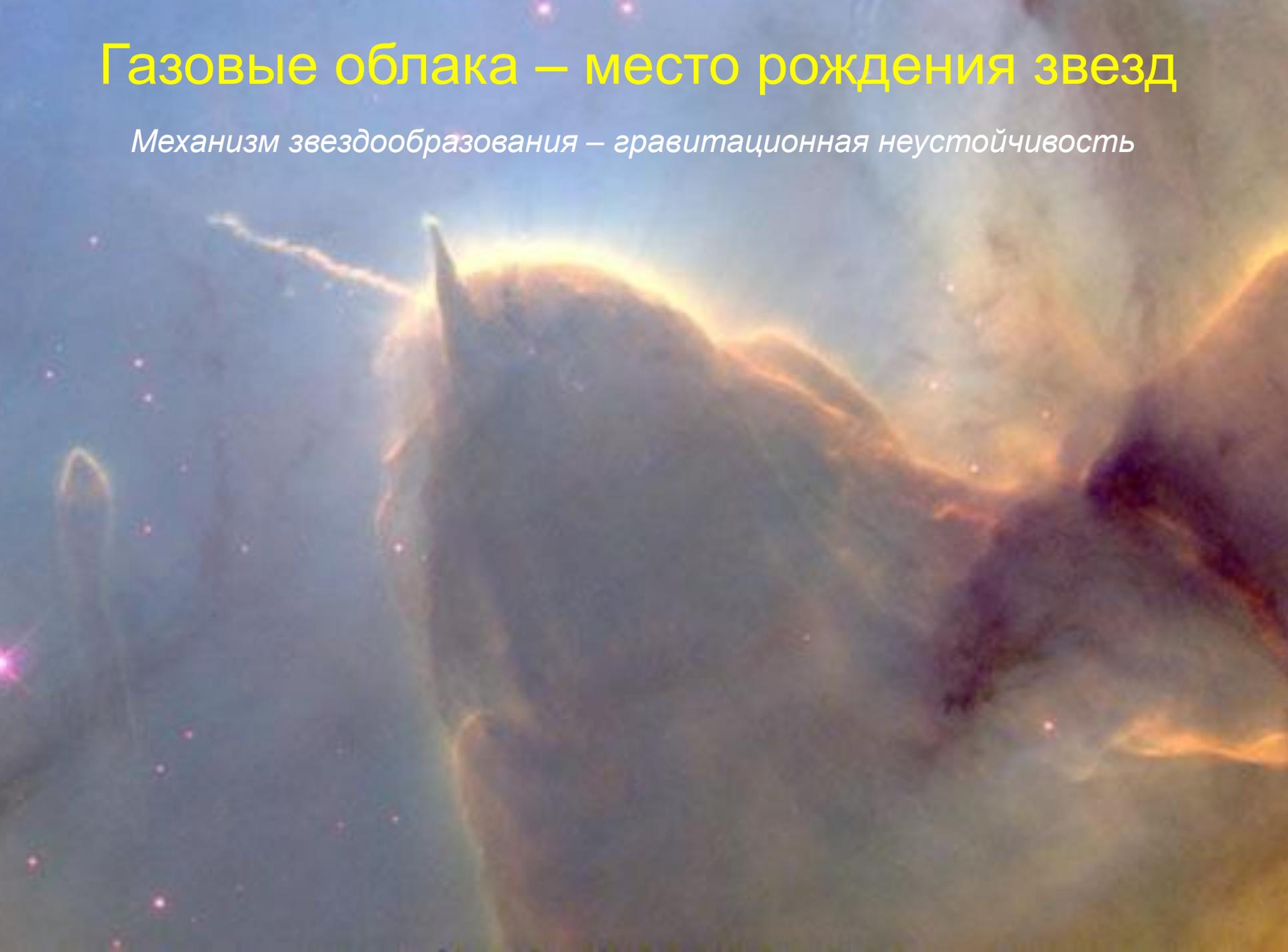


*Спиральные галактики теряют свою форму,
гравитационная неустойчивость усиливает звездообразование*



Газовые облака – место рождения звезд

Механизм звездообразования – гравитационная неустойчивость

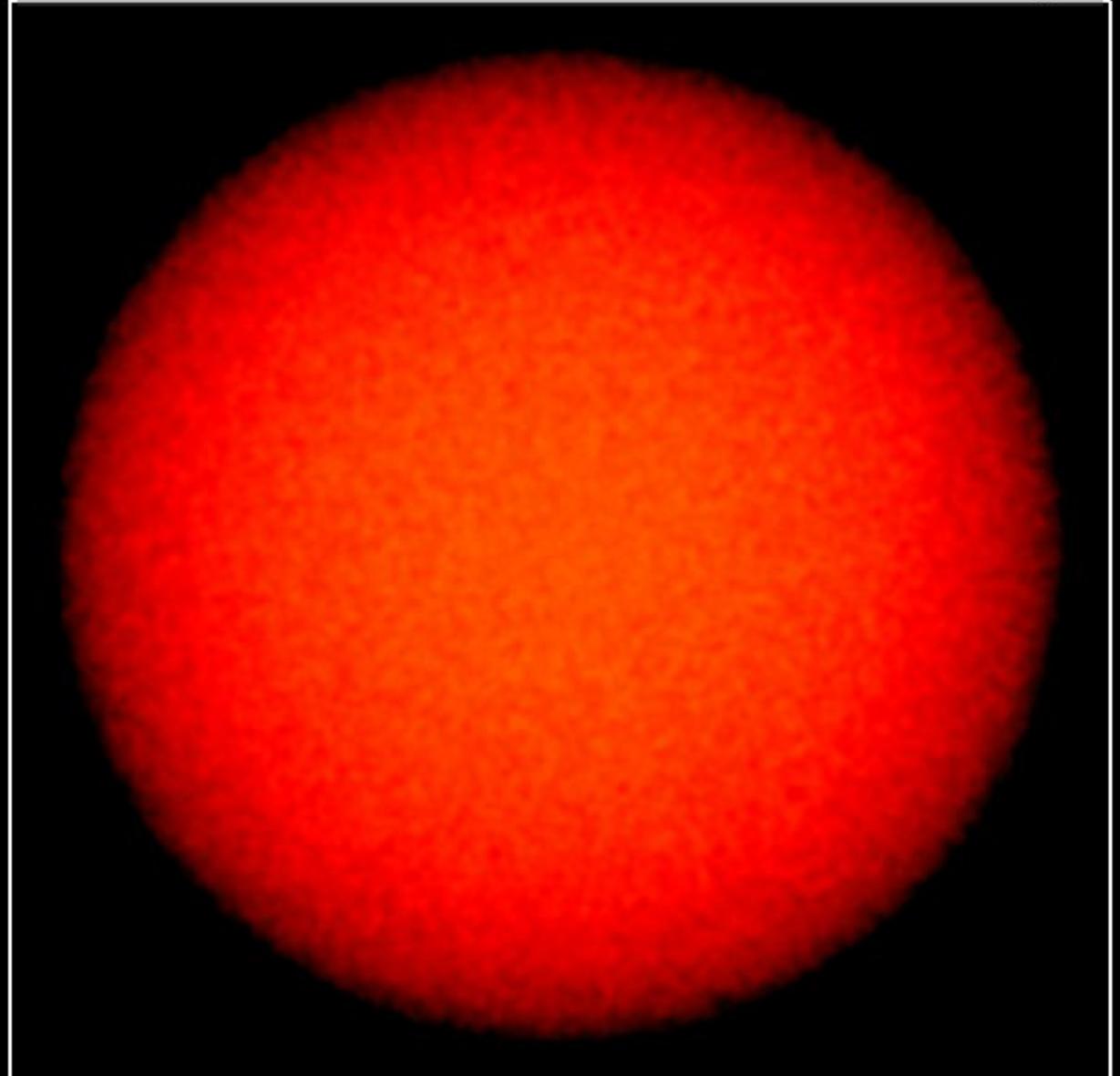


Звздообразование – модель

Dimensions: 82500. AU

Time: 0. yr

*Сгустки газа
сжимаются под
собственной
тяжестью,
образуя звезды.*



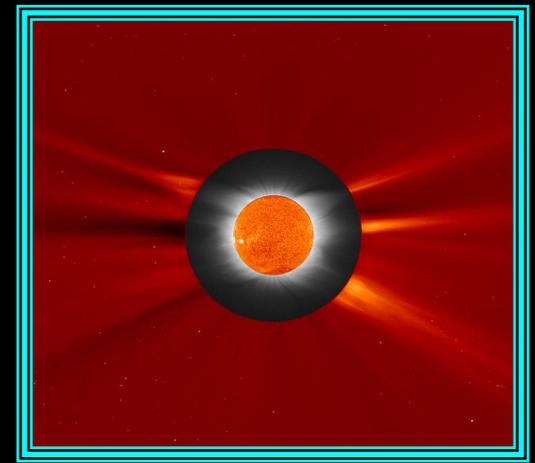
Плеяды – скопление молодых звезд

*Возраст – около 10 миллионов лет.
По звездным меркам это очень мало!*

Солнце тоже когда-то входило в рассеянное скопление, «детский сад» звезд, но давно покинуло его. Поэтому рядом мало ярких звезд.

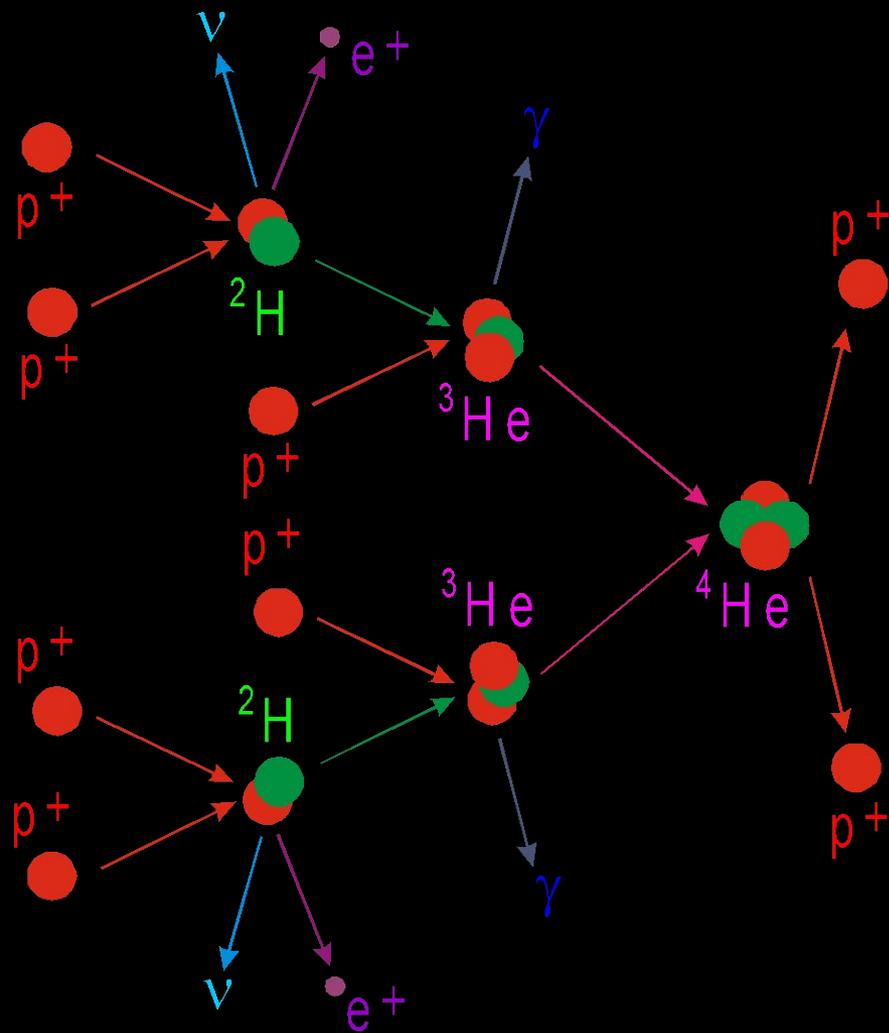
Что позволяет звездам светить миллиарды лет?

Гипотезы о механизмах энерговыделения звезд



- 1. Энергия падения вещества к центру звезды – Солнцу хватило бы на **20 минут**.*
- 2. Высвечивание тепловой энергии горячего газа – Солнцу хватило бы на **10 миллионов лет**.*
- 3. Термоядерные реакции в недрах звезды – Солнцу хватит на **12 миллиардов лет!***

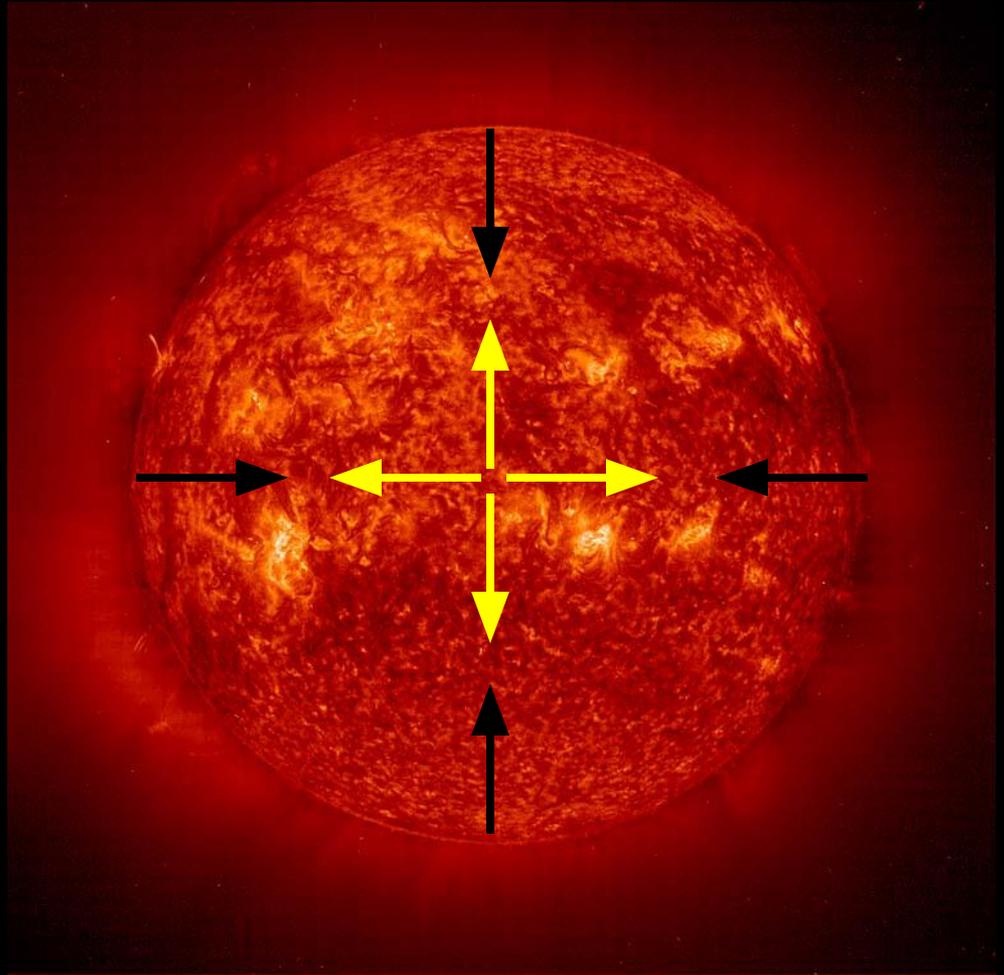
Термоядерное горение водорода



Динамическое равновесие звезды

Гравитация

Газовое давление



По окончании термоядерного синтеза силы, способные противостоять сжатию ядра, исчезают. Дальнейшая судьба звезды зависит от массы ядра.

Когда водород заканчивается в звездах типа Солнца

*Красный гигант, по
радиусу в 100 раз
больше Солнца*

*В центре – маленький и
очень плотный белый карлик,
сравнимый по размеру с Землей.
Его плотность – 1 тонна/см³*

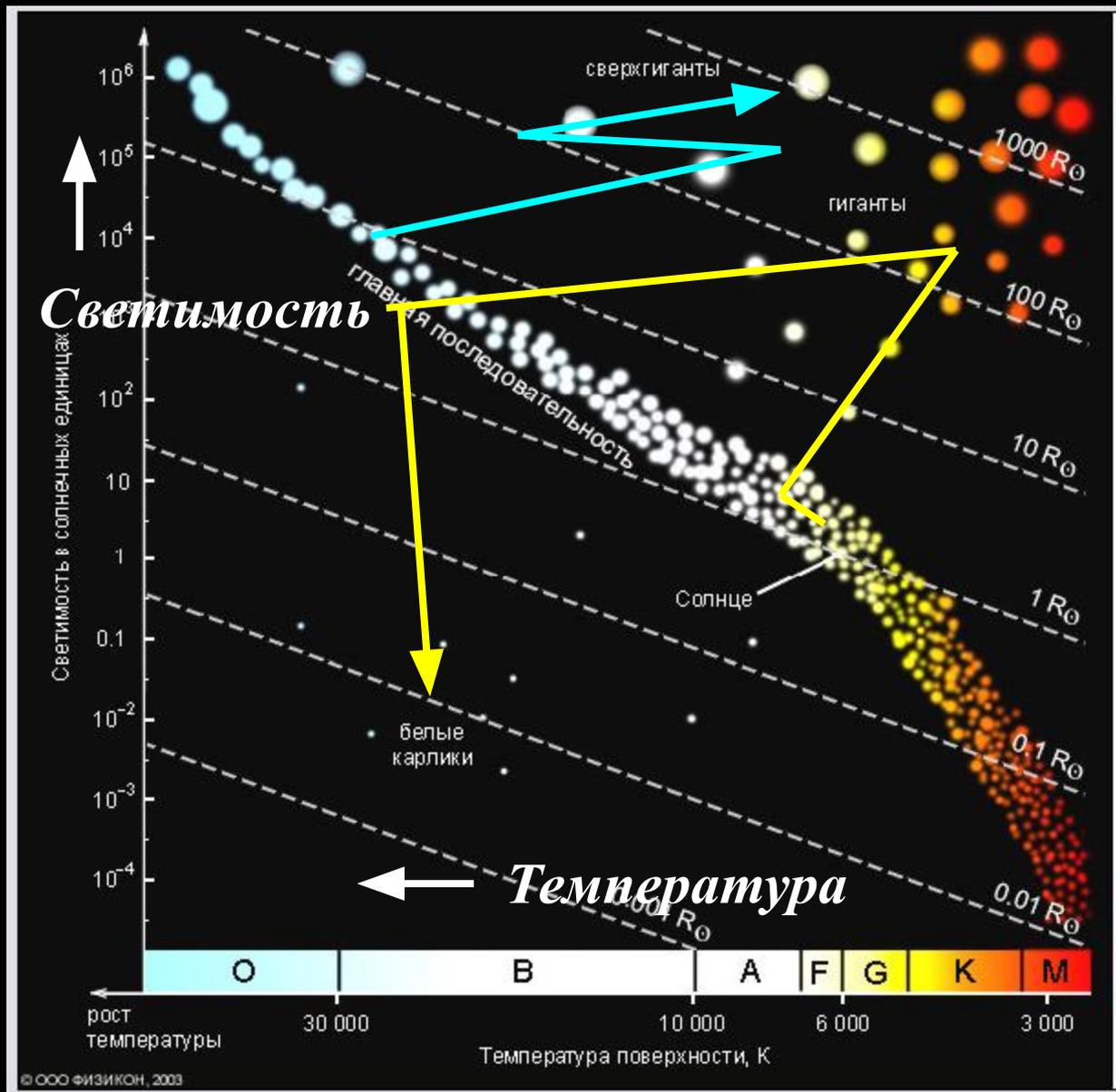
*Планетарная
туманность*



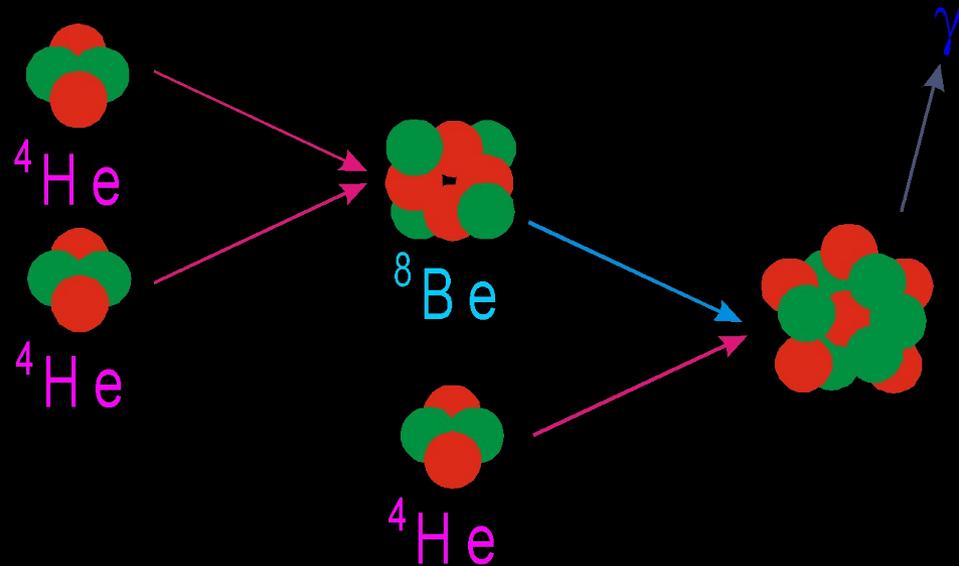
Диаграмма Герцшпрунга-Рассела

Эволюционный трек массивной звезды

Эволюционный трек Солнца



В недрах массивных звезд



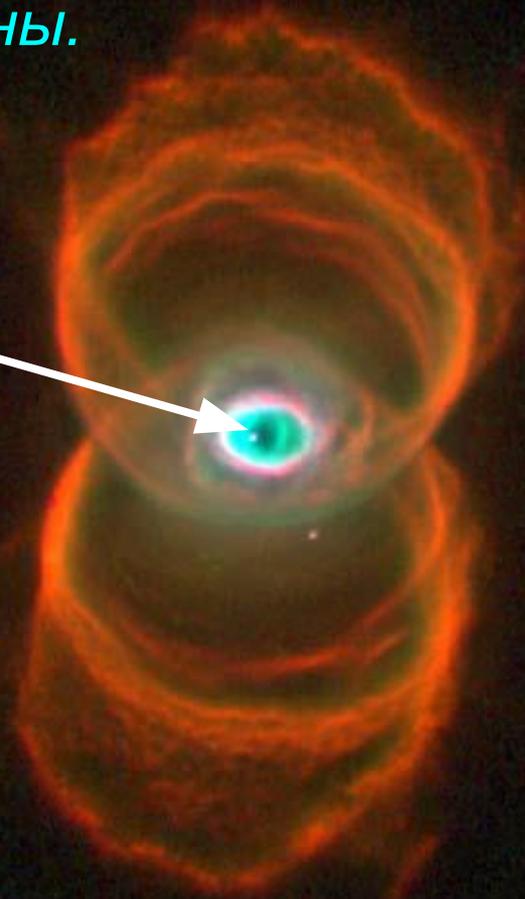
И далее – ${}^{16}\text{O}$, ${}^{20}\text{Ne}$, ${}^{24}\text{Mg}$, ..., ${}^{56}\text{Fe}$.

Звезды – единственные источники тяжелых элементов во Вселенной!

Коллапс массивных ядер

При массе более 1.4 массы Солнца ядро не может стать белым карликом и сжимается далее. Электроны «вдавливаются» в атомные ядра, образуя нейтроны.

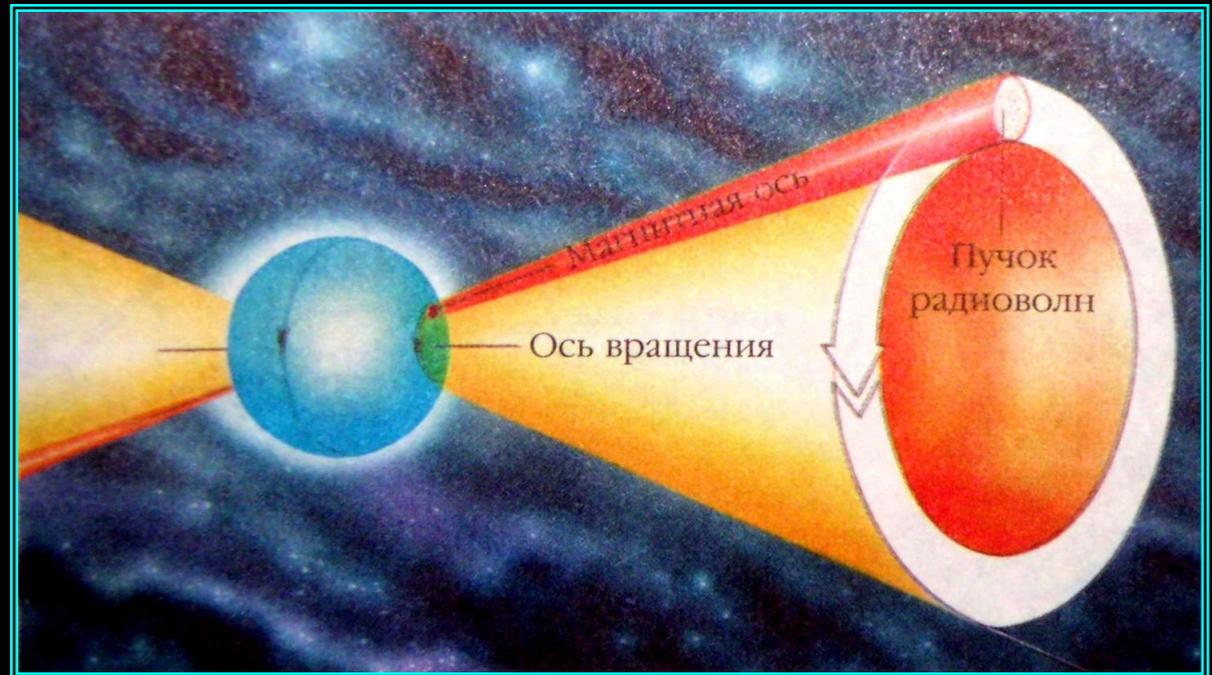
Нейтронная звезда:
Радиус около 10 км,
плотность – 10^{18} кг/м³!



Наблюдения нейтронных звезд

Нейтронные звезды быстро вращаются и обладают сильным магнитным полем. Вдоль магнитной оси светит «радиопрожектор». Если он попадает на луч зрения, мы наблюдаем пульсар.

Пульсары – самые точные часы во Вселенной!

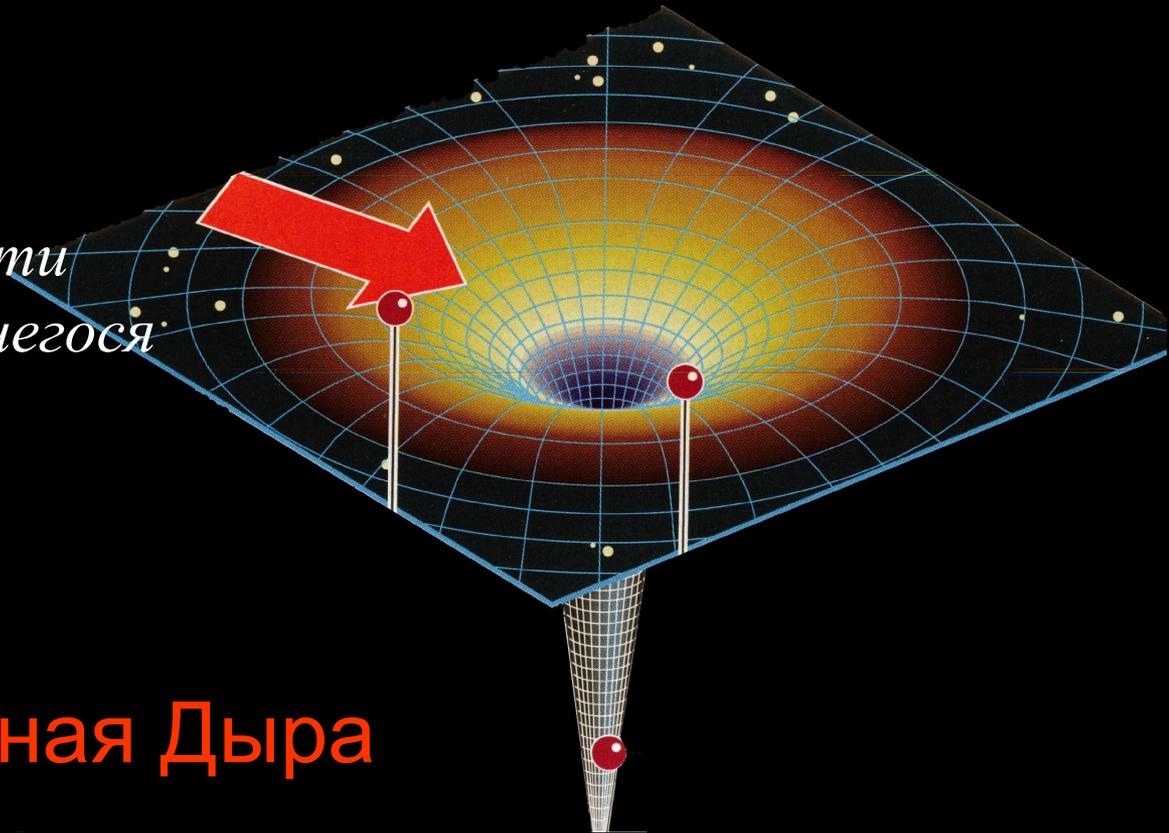


Коллапс массивных ядер

При массе более 3 масс Солнца ядро не может стать даже нейтронной звездой и сжимается неограниченно.

Гравитация столь сильна, что с этого тела не может уйти даже свет...

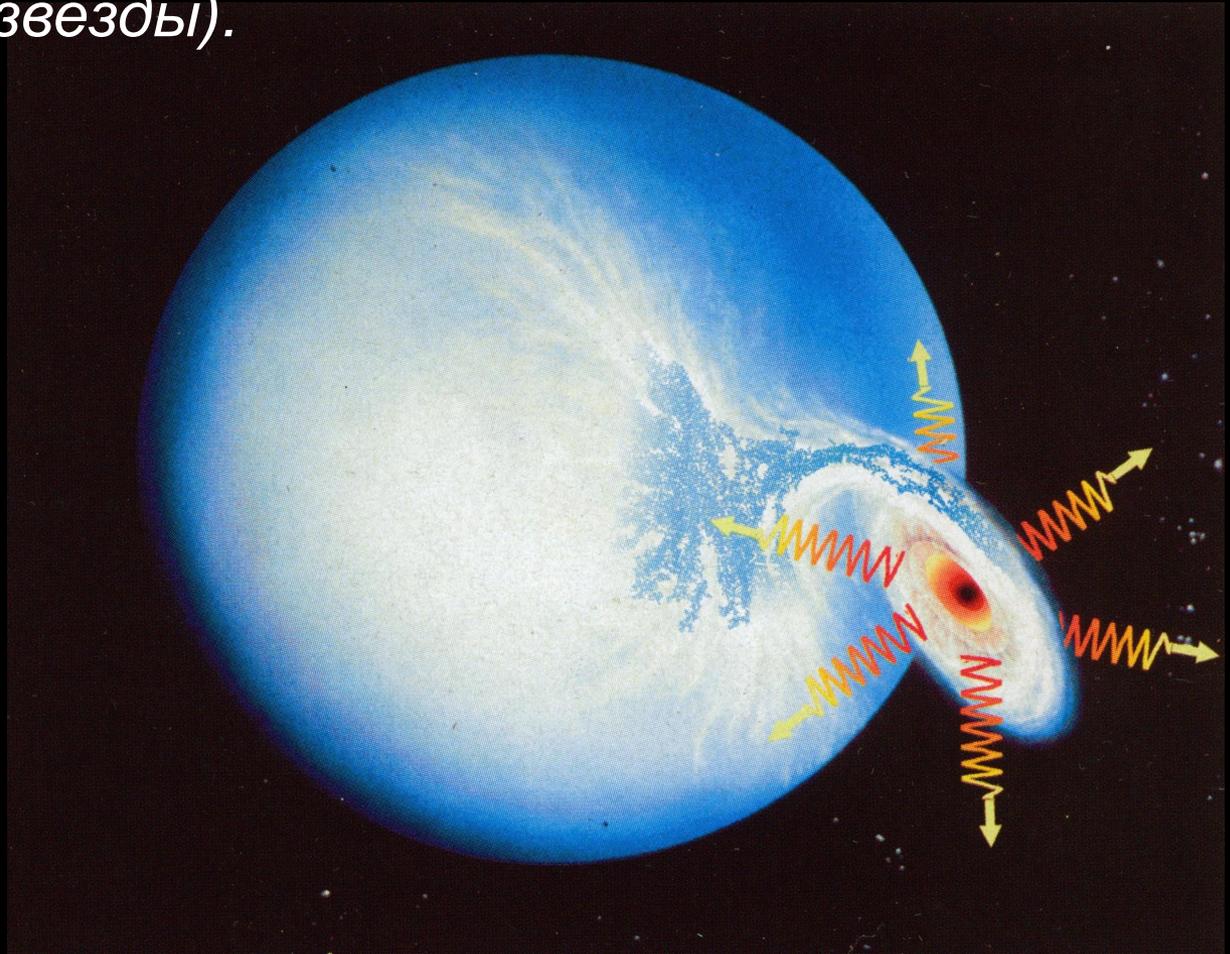
*Эффекты Общей
Теории Относительности
делают область сжавшегося
ядра принципиально
ненаблюдаемой извне.*



Образуется Черная Дыра

Как проявляют себя черные дыры?

1. Гравитацией – притяжением других тел.
2. Рентгеновским излучением падающего вещества (как и нейтронные звезды).



Черные дыры во Вселенной

1. *Остатки массивных звезд.*
2. *Сверхмассивные (10^6 масс Солнца) черные дыры в ядрах галактик, в том числе – в нашей Галактике.*
3. *Космологические черные дыры, образовавшиеся в ранней Вселенной (возможная природа «темной материи».*



Коллапс звездного ядра

*При сжатии ядра выделяется колоссальная энергия.
Происходит взрыв Сверхновой звезды.*

*При взрыве образуются
элементы тяжелее
железа, вплоть до урана.*



Остатки вспышек сверхновых

В межзвездное пространство выбрасывается большое количество газа, содержащего тяжелые элементы

В нашей Галактике Сверхновые вспыхивают в среднем 1 раз в 20 лет, но из-за пыли большинство мы не видим.

Крабовидная Туманность – остаток вспышки Сверхновой, наблюдавшейся в 1054 году.

Вторичное звездообразование

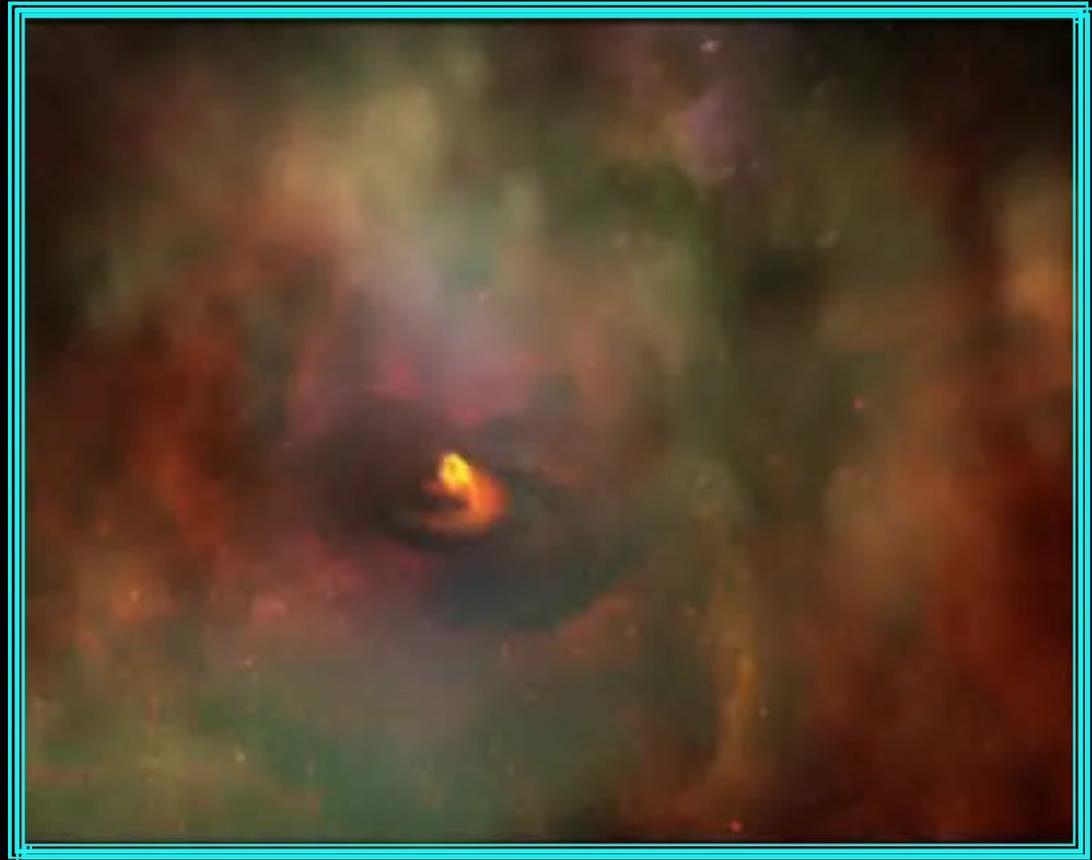
Выброшенный газ вновь участвует в процессе звездообразования

Звезды второго поколения богаты тяжелыми элементами, в том числе углеродом и кислородом.

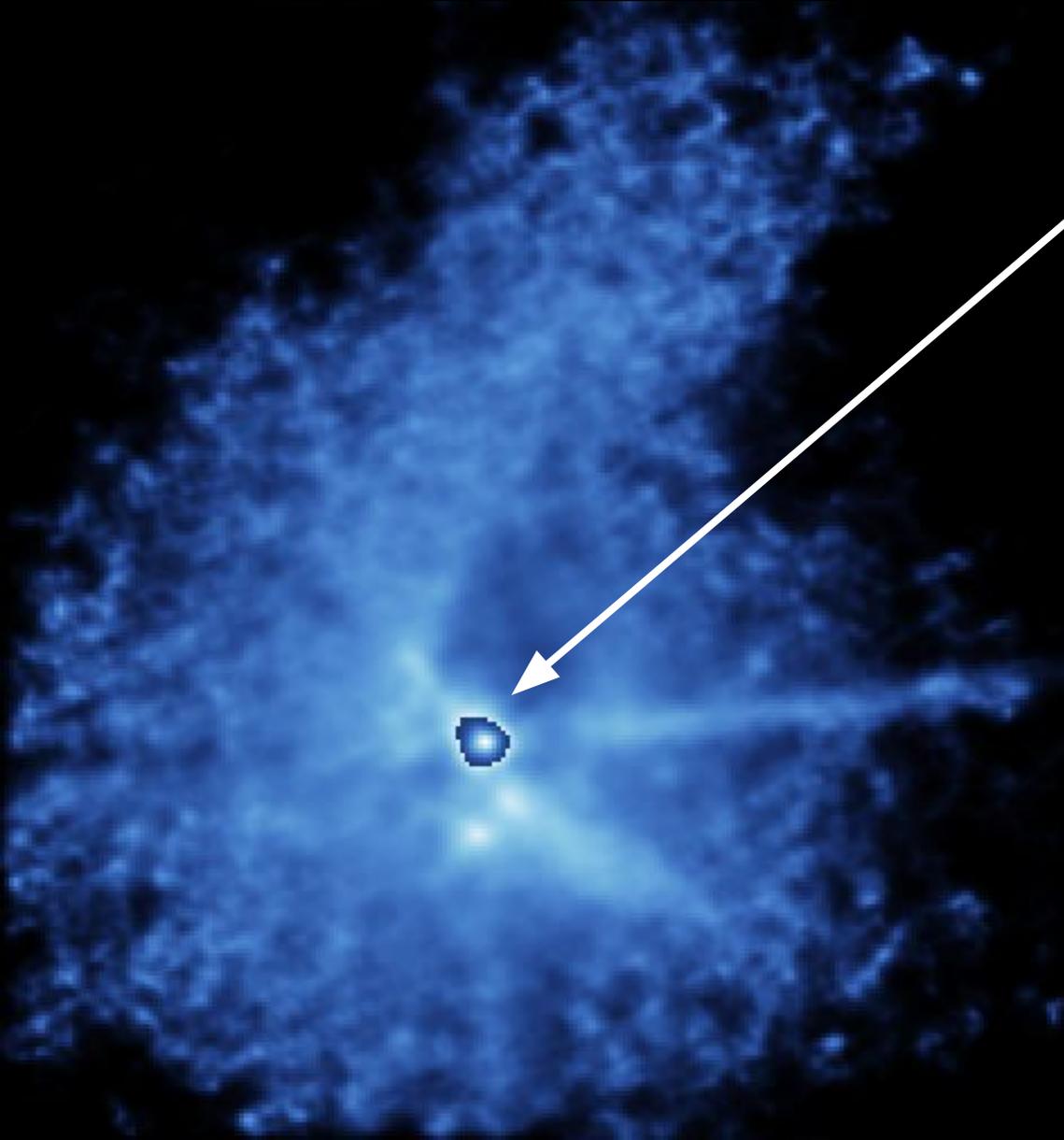
Протозвездное облако

Одновременно со звездой из протозвездного облака образуются более мелкие тела.

Механизм тот же – гравитационная неустойчивость.



Молодое Солнце



Звезда типа Т Тельца
(на рисунке закрыта маской)

Остатки протозвездного облака
частично сгущаются, образуя
планетную систему

Первичное вещество остается
в виде астероидов, комет и
межпланетной пыли

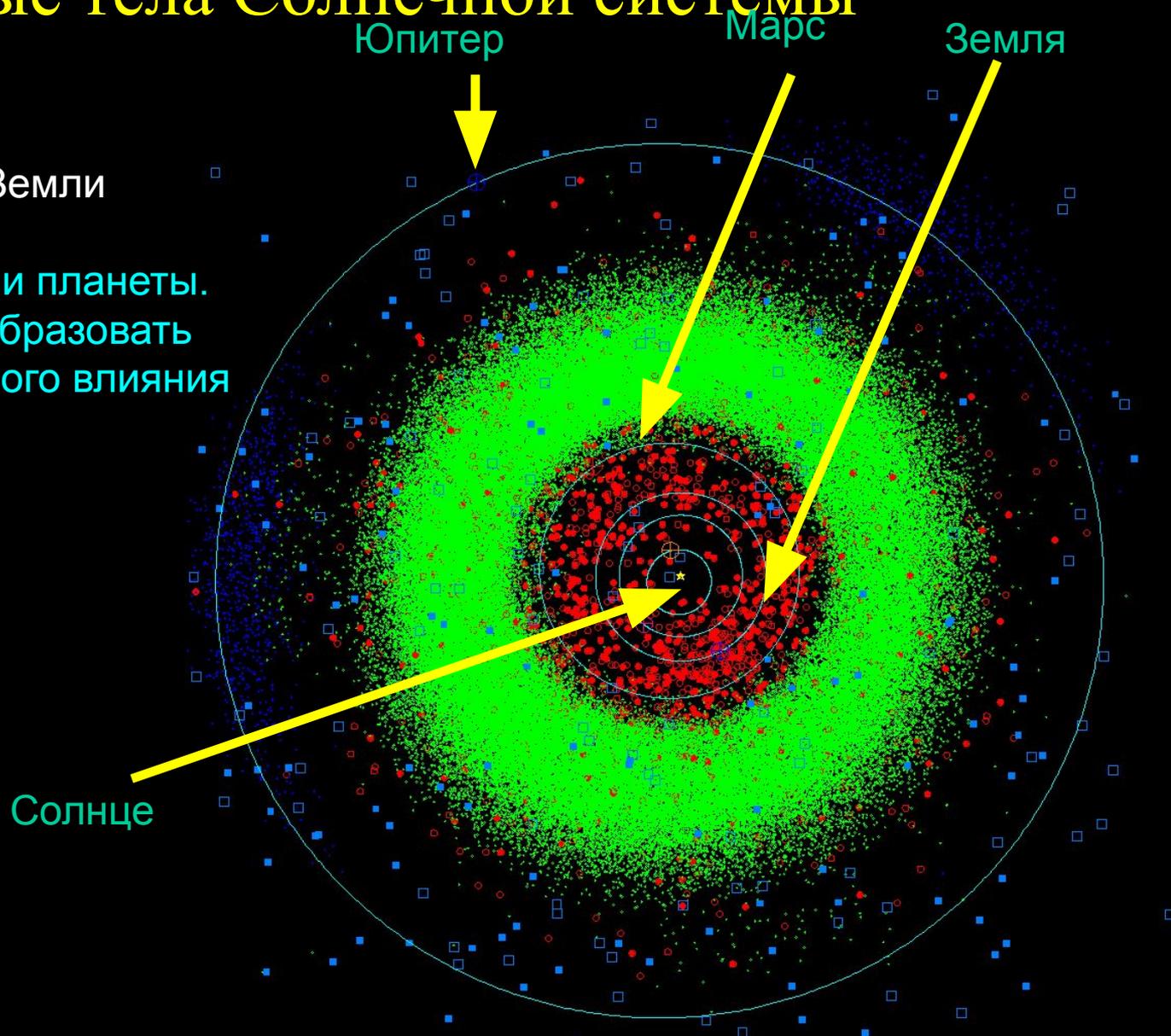
Малые тела Солнечной системы

Астероиды:

Количество – 100 000,

Масса – 0.001 массы Земли

Не являются осколками планеты.
Напротив, не смогли образовать
планету из-за приливного влияния
Юпитера.



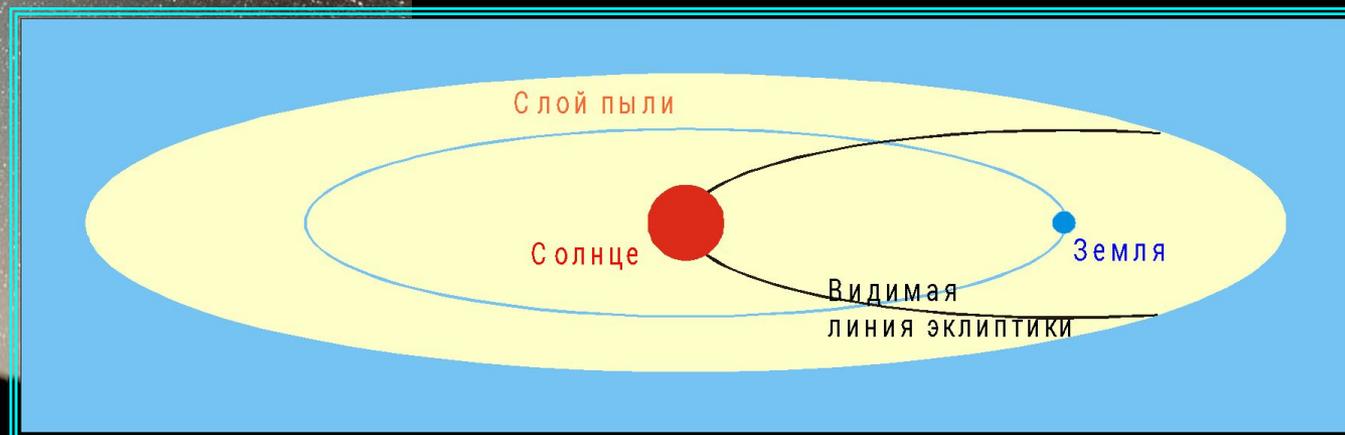
Зодиакальный свет

Образуется при рассеянии света Солнца на частицах пыли, до сих пор остающихся в Солнечной системе в слое, видимом с Земли «с ребра»

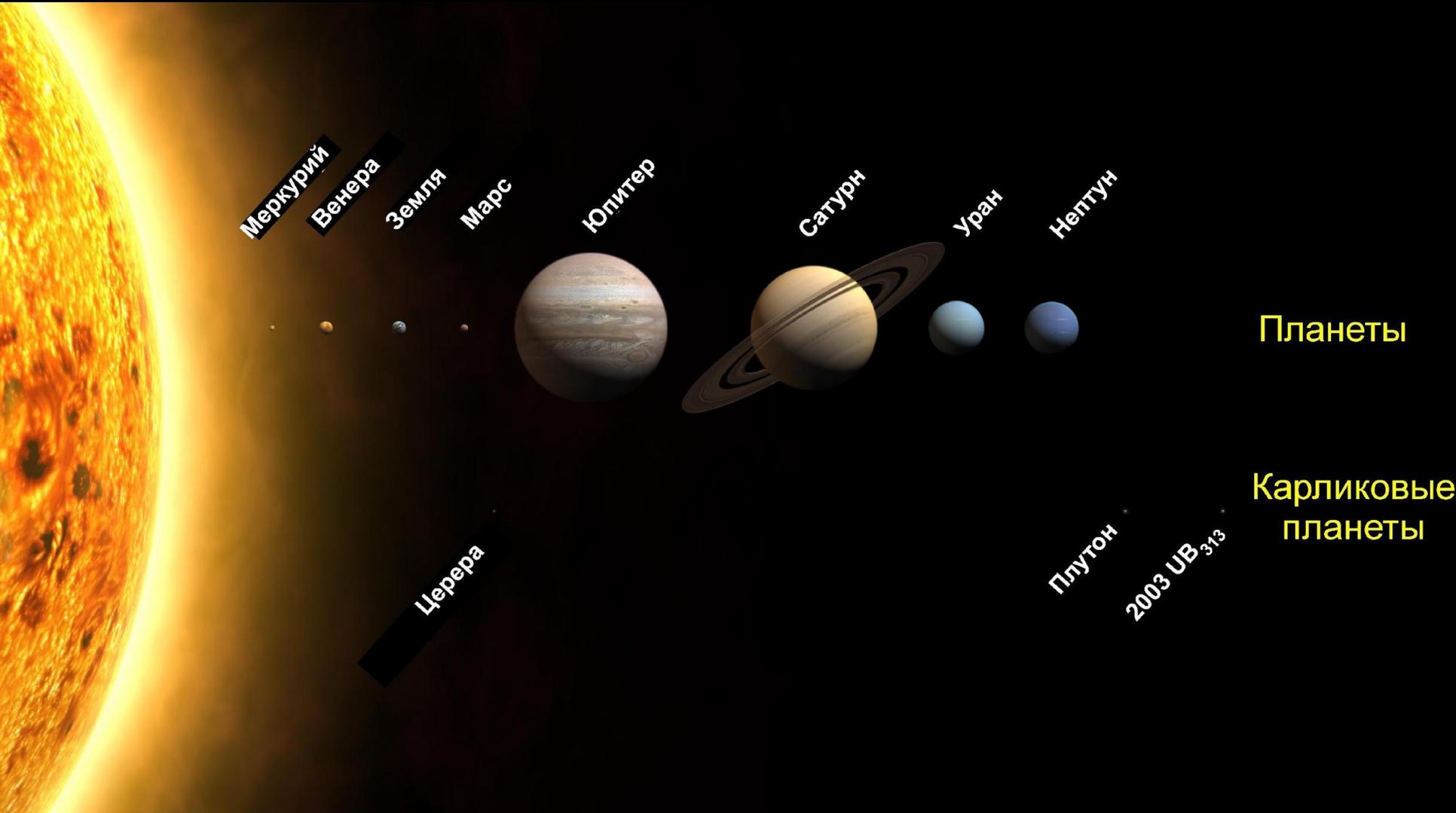
Хорошо виден в тропических широтах вечером и под утро

Эклиптика

Солнце



Солнечная система



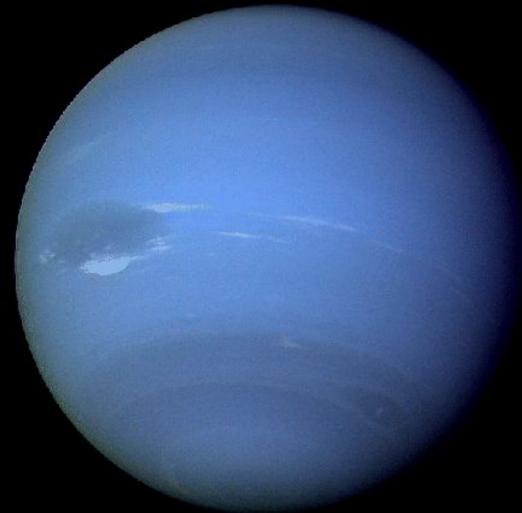
На разных расстояниях от Солнца планеты отличаются по свойствам и химическому составу

Уран и Нептун – «планеты-близнецы»

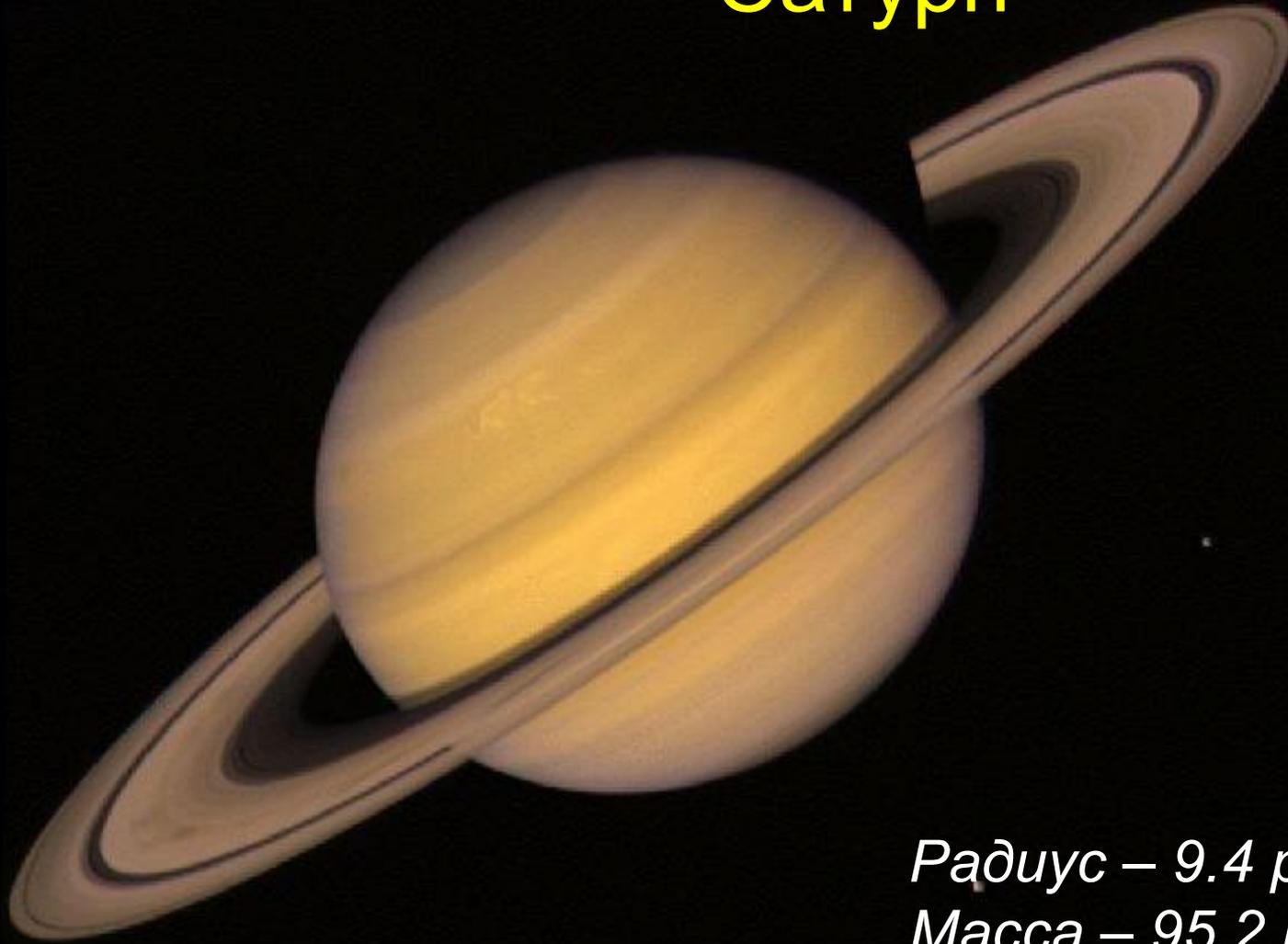


*Радиус – 4.0 радиуса Земли
Масса – 14.5 масс Земли
Радиус орбиты – 19.2 а.е.*

*Радиус – 3.9 радиуса Земли
Масса – 17.1 масс Земли
Радиус орбиты – 30.1 а.е.*



Сатурн



Радиус – 9.4 радиуса Земли

Масса – 95.2 масс Земли

Радиус орбиты – 9.5 а.е.

Плотность – 0.7 г/см³

Спутники Сатурна



Титан

Титан



*Радиус – 2600 км (больше Меркурия)
Единственный спутник планеты,
имеющий плотную азотную атмосферу*

*«Грозы на Титане»
(Марк Гарлик)*



Юпитер

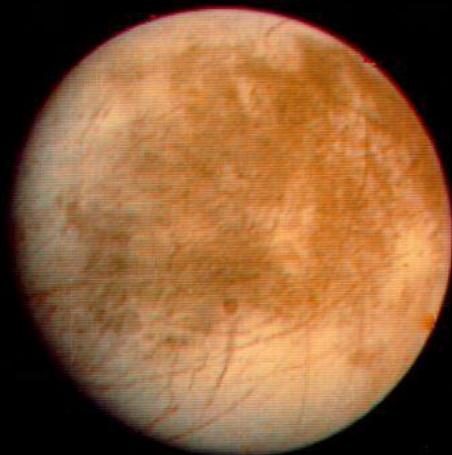


*Радиус – 11.2 радиуса Земли
Масса – 318 масс Земли
Радиус орбиты – 5.2 а.е.*

Крупнейшие спутники Юпитера



Ио

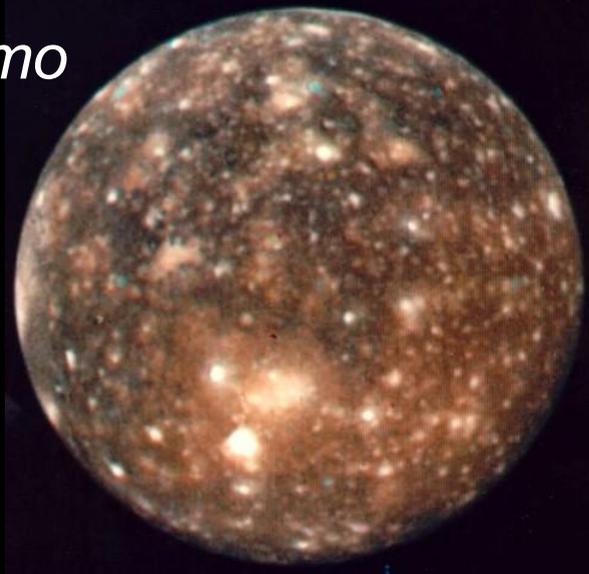


Европа

Ганимед



Каллисто

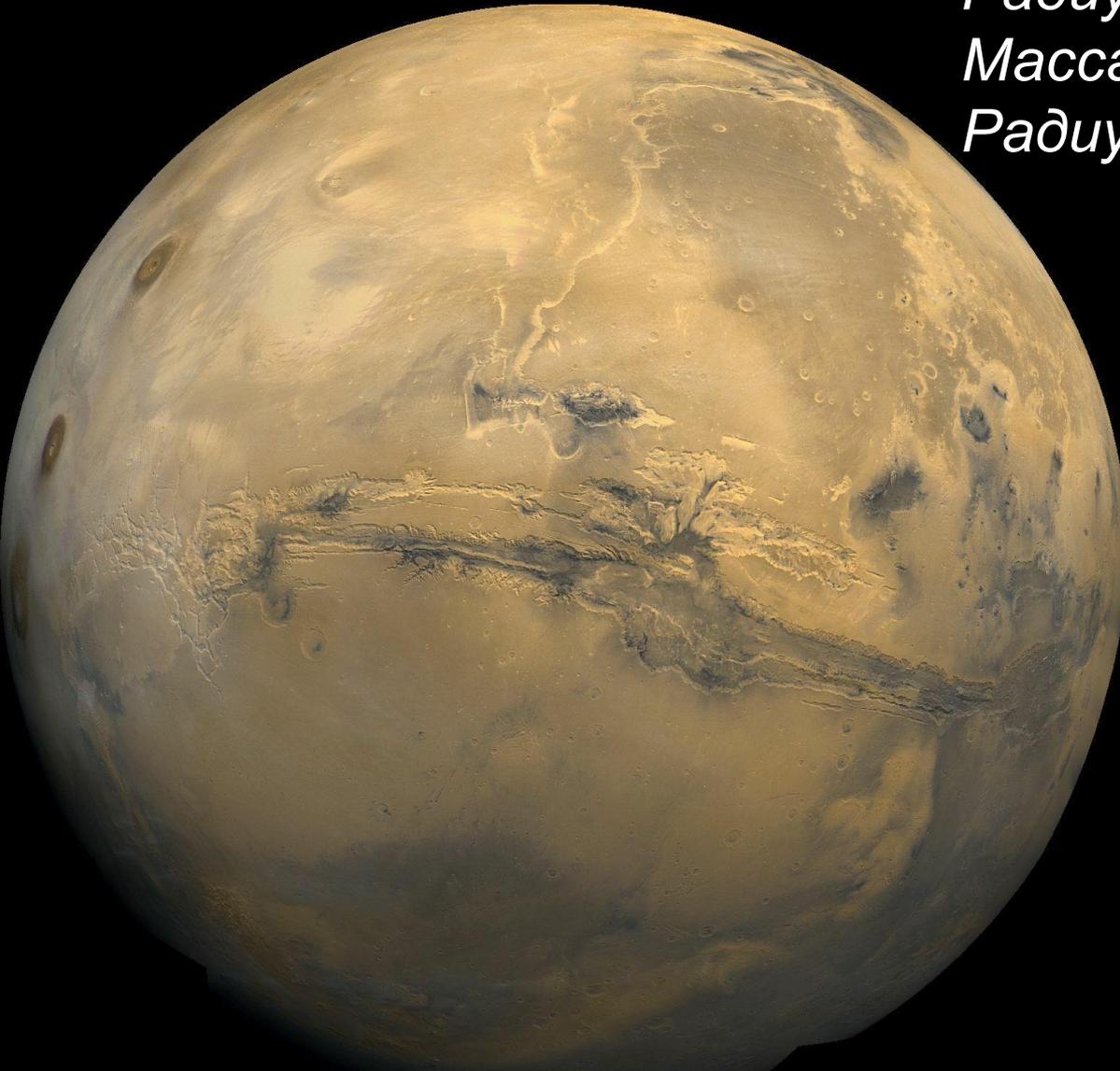


Марс

Радиус – 0.53 радиуса Земли

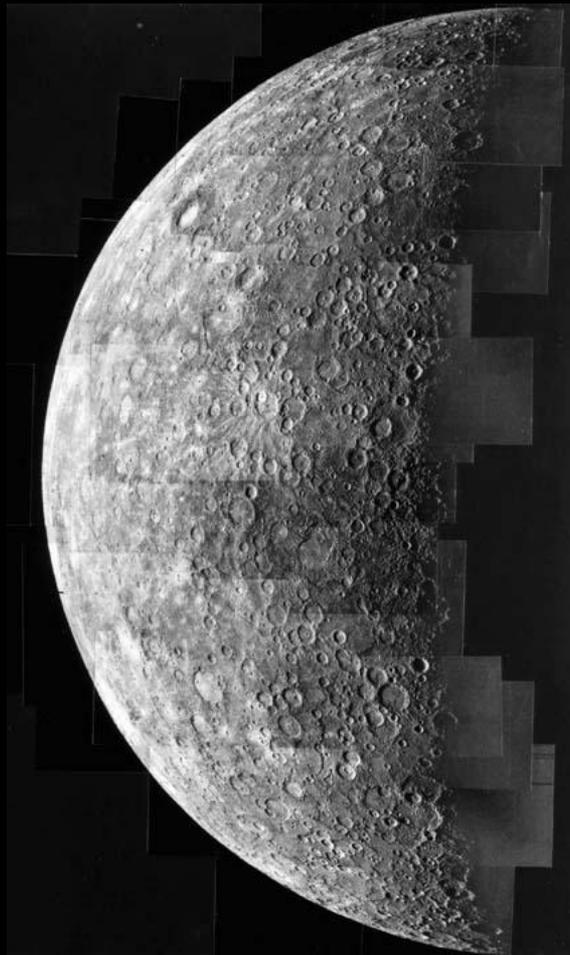
Масса – 0.11 массы Земли

Радиус орбиты – 1.5 а.е.





Меркурий



Радиус – 0.38 радиуса Земли

Масса – 0.05 массы Земли

Радиус орбиты – 0.39 а.е.

Венера

Самое яркое светило на земном небе после Солнца и Луны



Венера



*Самая плотная атмосфера
в Солнечной системе*

*Прохождение Венеры
по диску Солнца
8 июня 2004 года*

Венера

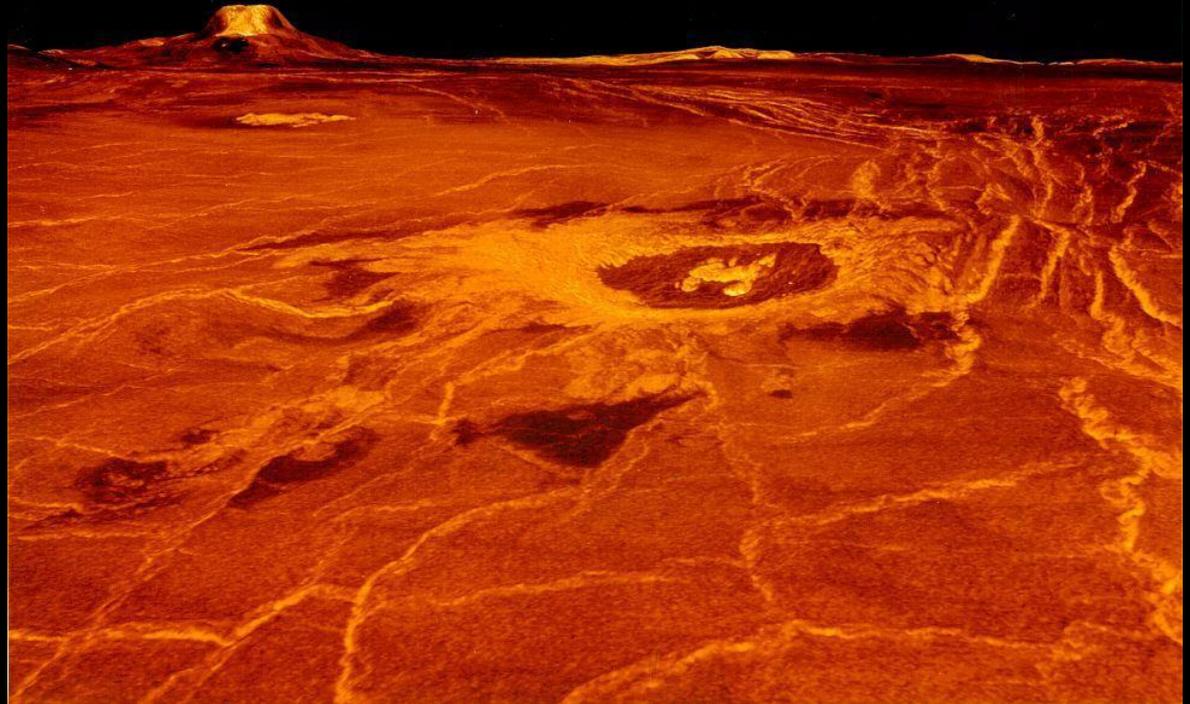
Радиус – 0.95 радиуса Земли

Масса – 0.81 массы Земли

Радиус орбиты – 0.72 а.е.



Вид снаружи



Вид изнутри

Земля

*Во многом отличается
от всех других планет*



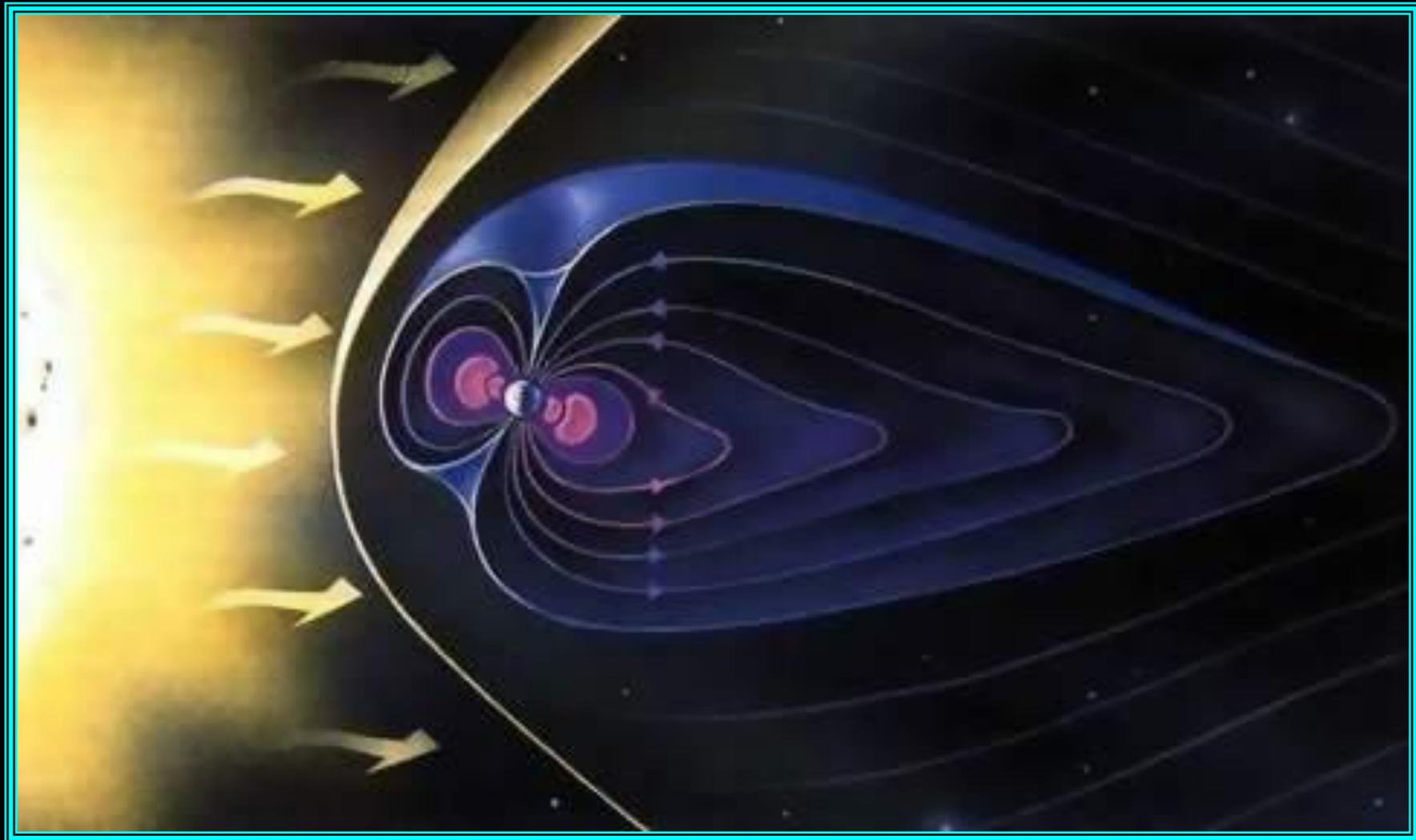
Земля – двойная планета



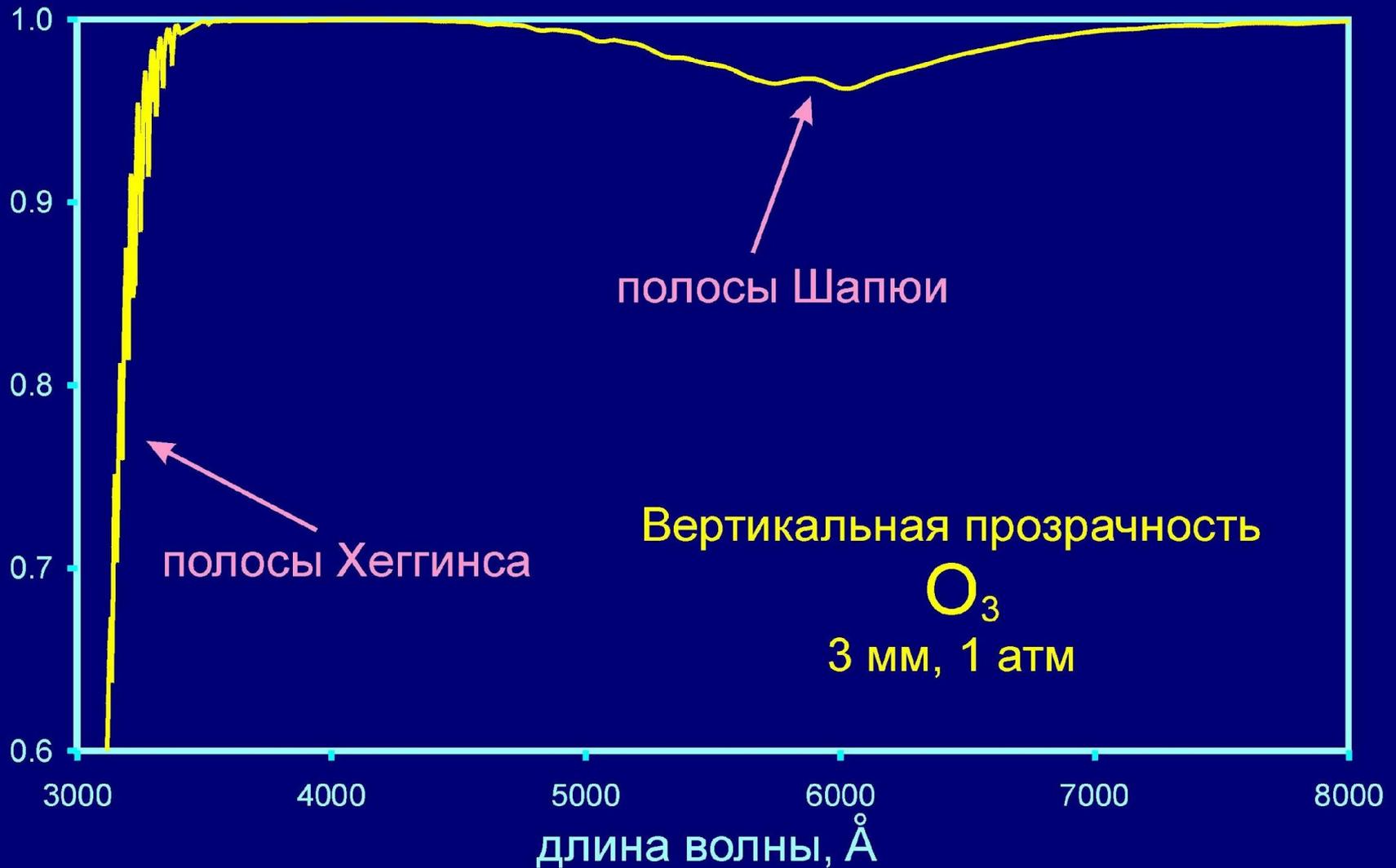
*Луна меньше Земли по размеру
в 3.67 раза, по массе в 81 раз.*

*Эти цифры – наименьшие для
8 больших планет!*

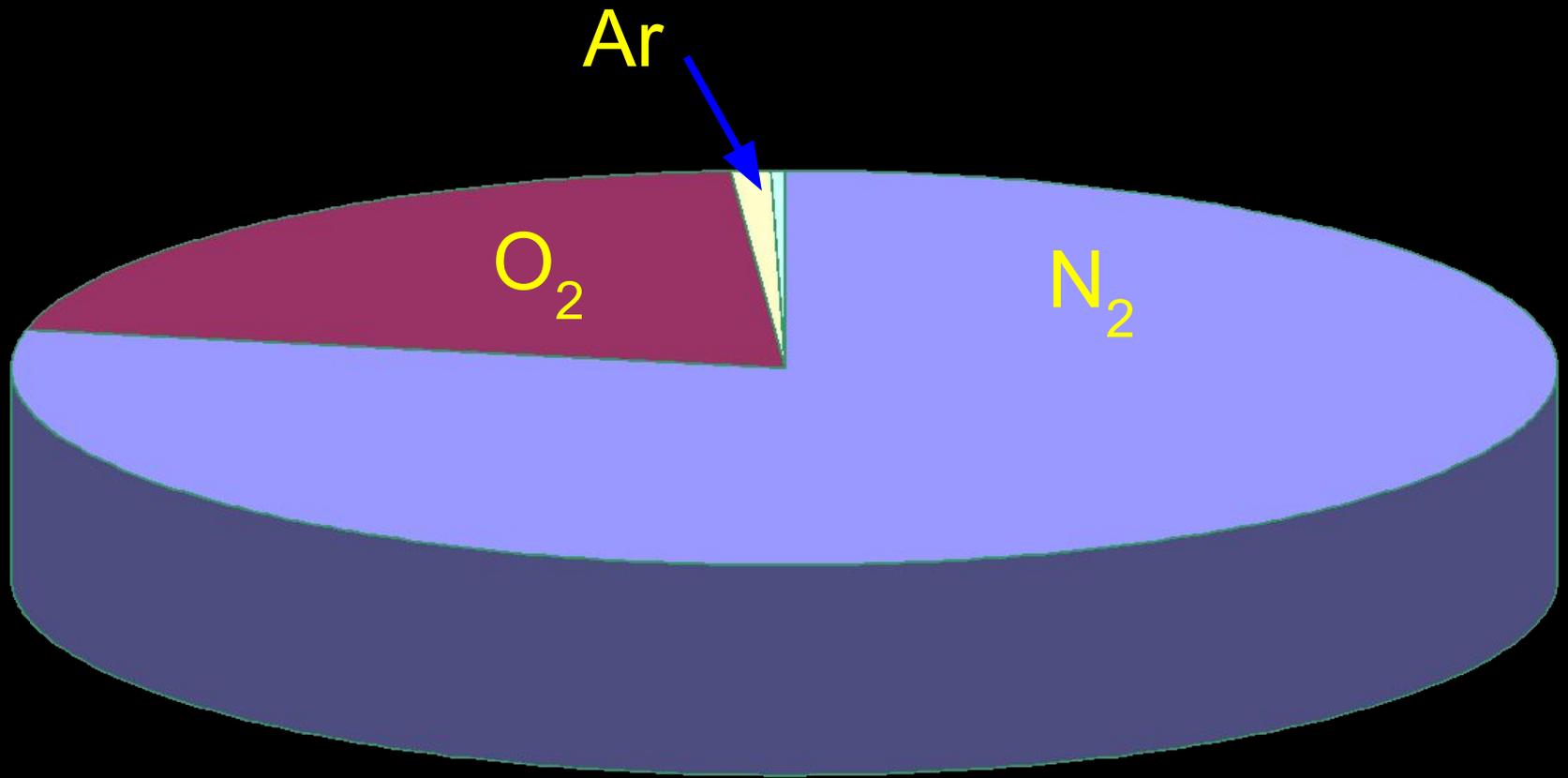
Магнитный щит Земли



Ультрафиолетовый щит Земли



Состав атмосферы Земли



Венера и Марс: $CO_2 > 95\%$, O_2 – нет.

Сценарии эволюции Вселенной

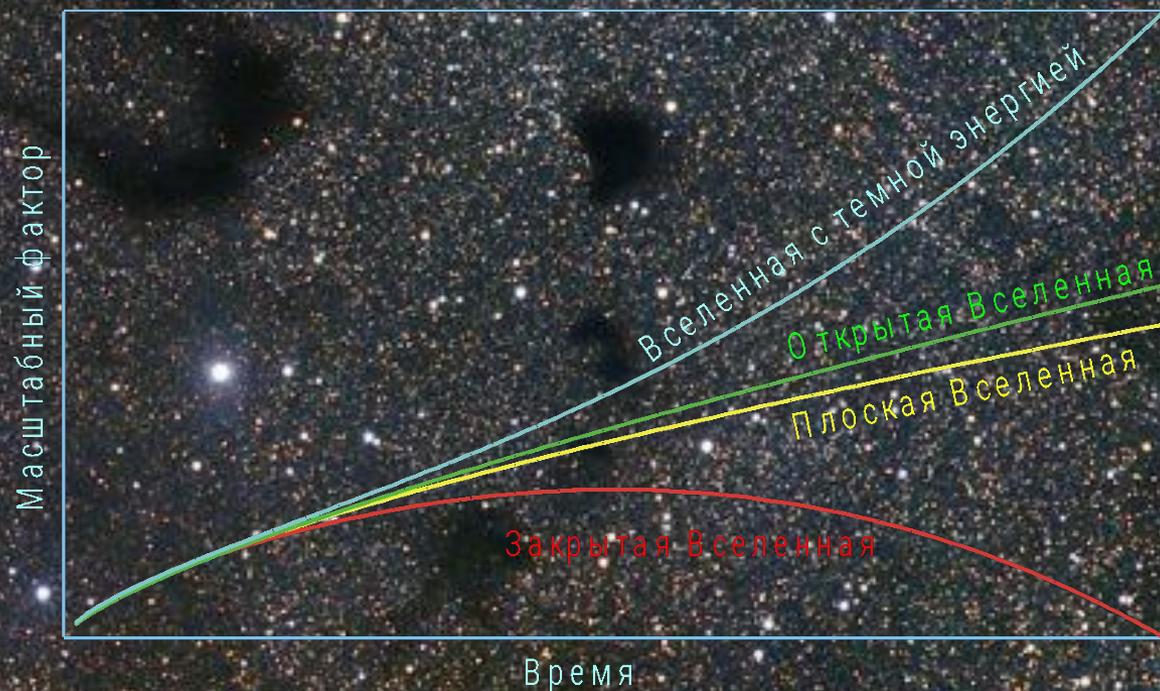
Был ли Большой Взрыв единственным в истории Вселенной?

Если средняя плотность Вселенной больше 10^{-29} г/см³, то нет – Вселенная закрыта (замкнута).

Если равна или больше, то да – Вселенная будет расширяться вечно.

1980-е годы:
Вселенная плоская?

1998:
Открытие темной энергии.



Темная энергия



«Всемирное отталкивание», заставляющее Вселенную расширяться с ускорением.

Темная материя и темная энергия

Темная материя:

Природа неизвестна

Обладает инертной массой

Обладает гравитационным притяжением

Плотность убывает со временем

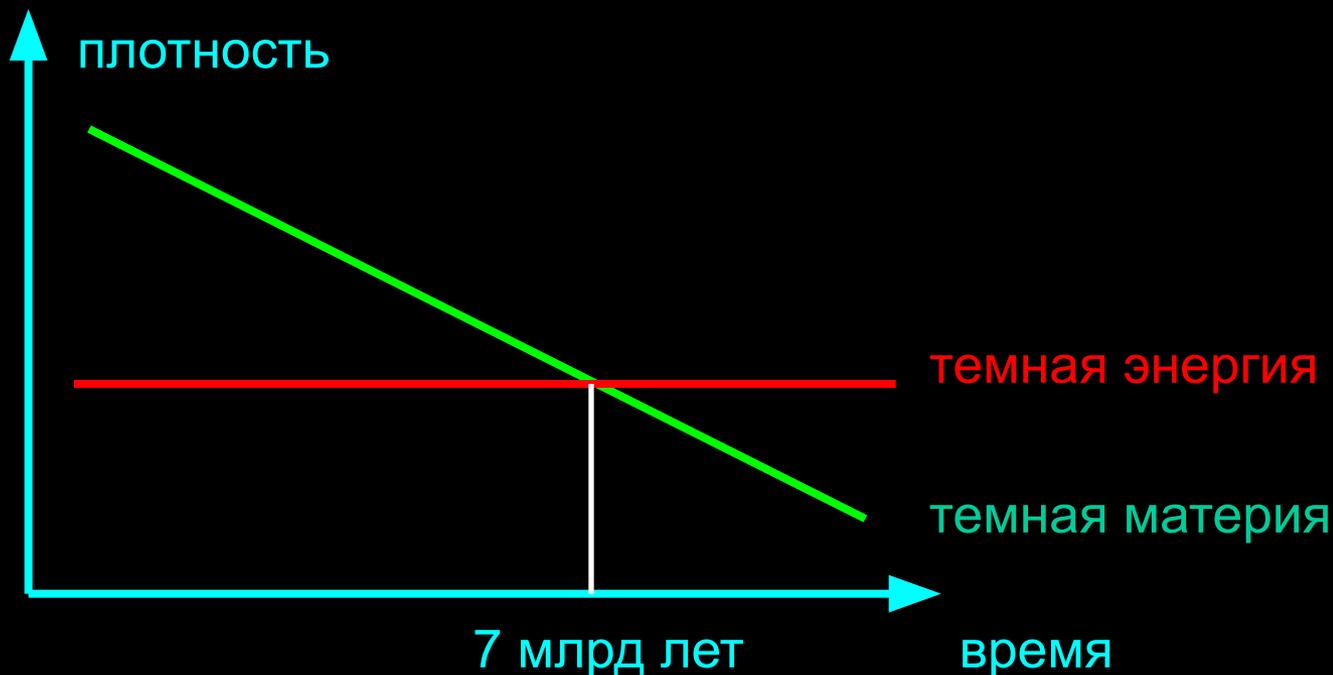
Темная энергия («космический вакуум»):

Природа неизвестна

Не обладает инертной массой

Обладает гравитационным отталкиванием

Плотность не изменяется со временем

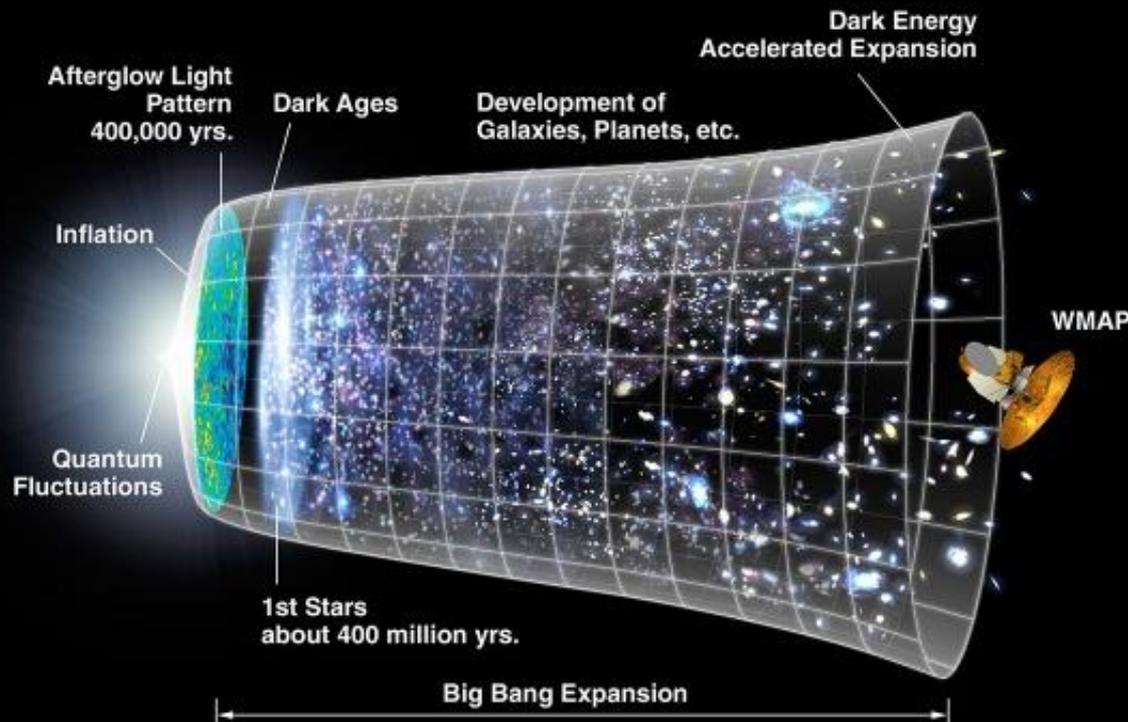


Начало «новой эры»

Время: 7 миллиардов лет (сейчас – 14 миллиардов лет).
Температура: 5 К (сейчас – 2.7К).

Плотность всех форм материи убывает и
становится меньше постоянной плотности темной энергии

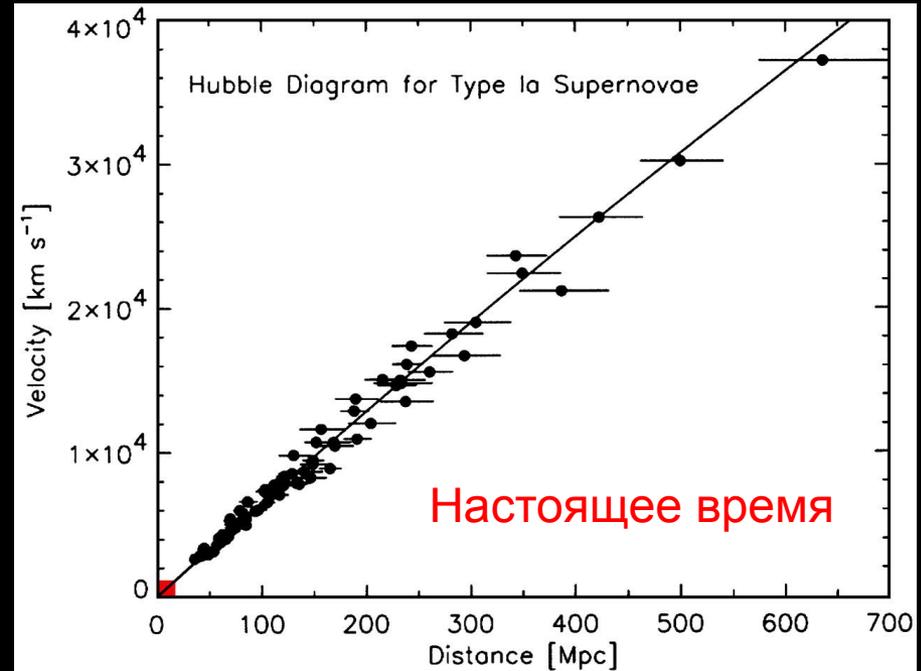
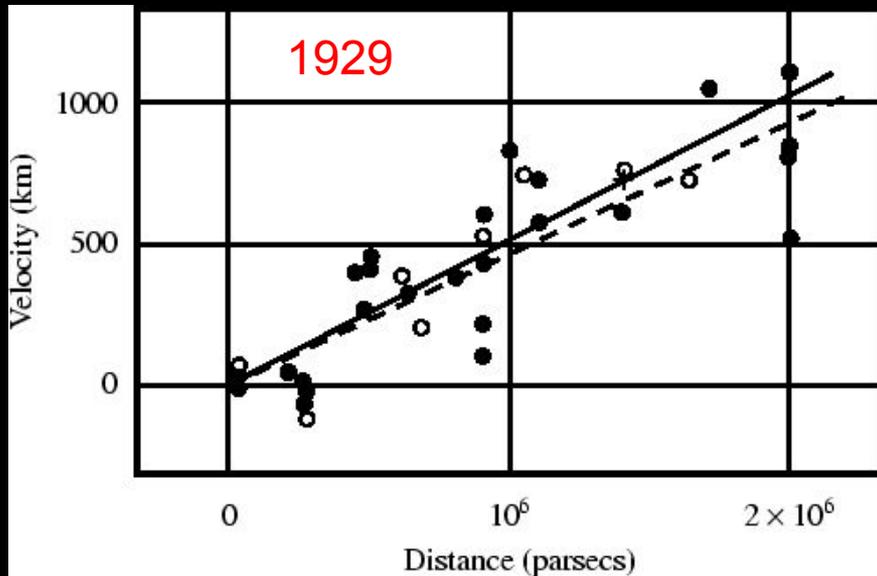
Вновь начинается ускоренное расширение Вселенной



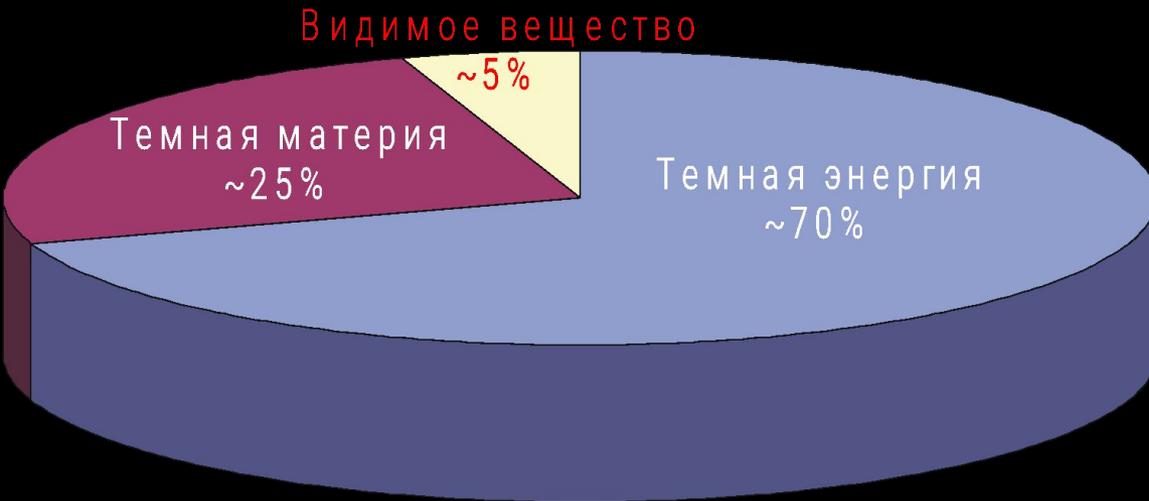
Открытие расширения Вселенной

1929 – Э.П. Хаббл: далекие галактики удаляются от нас тем быстрее, чем больше расстояние до них.

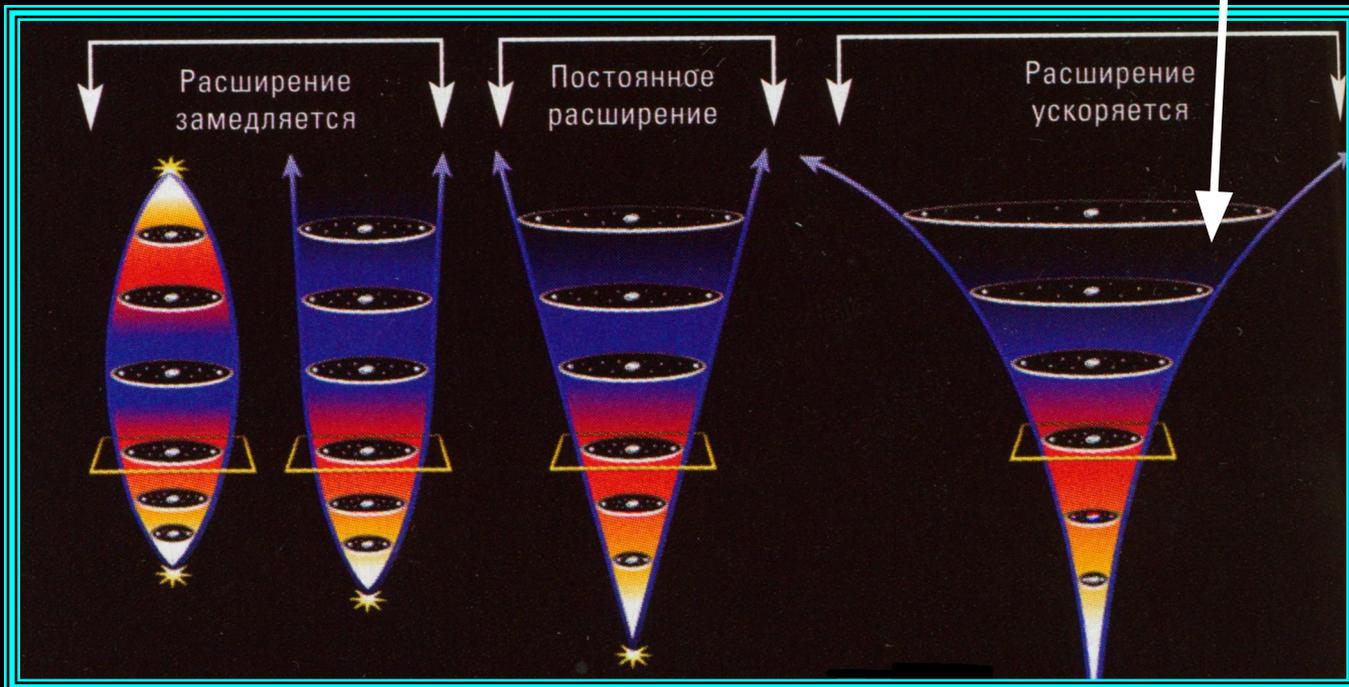
$V = H \cdot R$, H – постоянная Хаббла, равная $500 \text{ км/с} \cdot \text{Мпк}$.
Современное значение – около $65 \text{ км/с} \cdot \text{Мпк}$.



Вселенная в настоящее время



Наличие темной энергии приводит к ускоренному расширению Вселенной



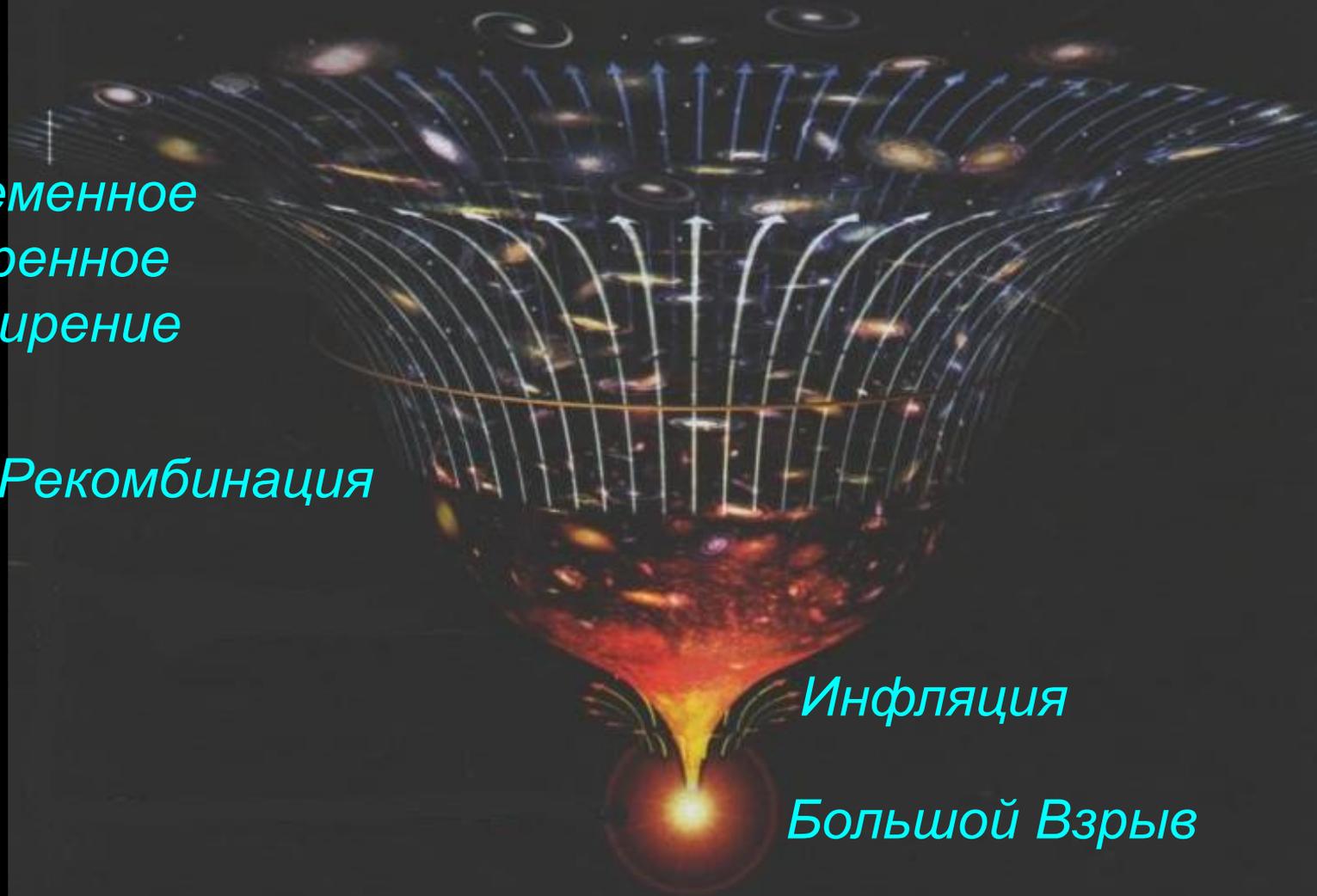
Две эпохи инфляции

Современное
ускоренное
расширение

Рекомбинация

Инфляция

Большой Взрыв



Масштабы Вселенной

