

Астрономия

Звезды.

***Некоторые аспекты современной космологии
(обзорная лекция)***

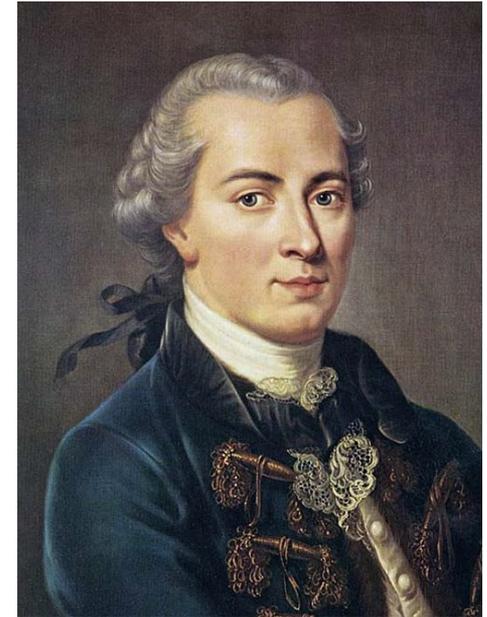
Леготин Сергей Дмитриевич

К.Т.Н., доцент



Мироздание с его неизмеримым величием, с его сияющим отовсюду бесконечным разнообразием и красотой приводит нас в безмолвное изумление.

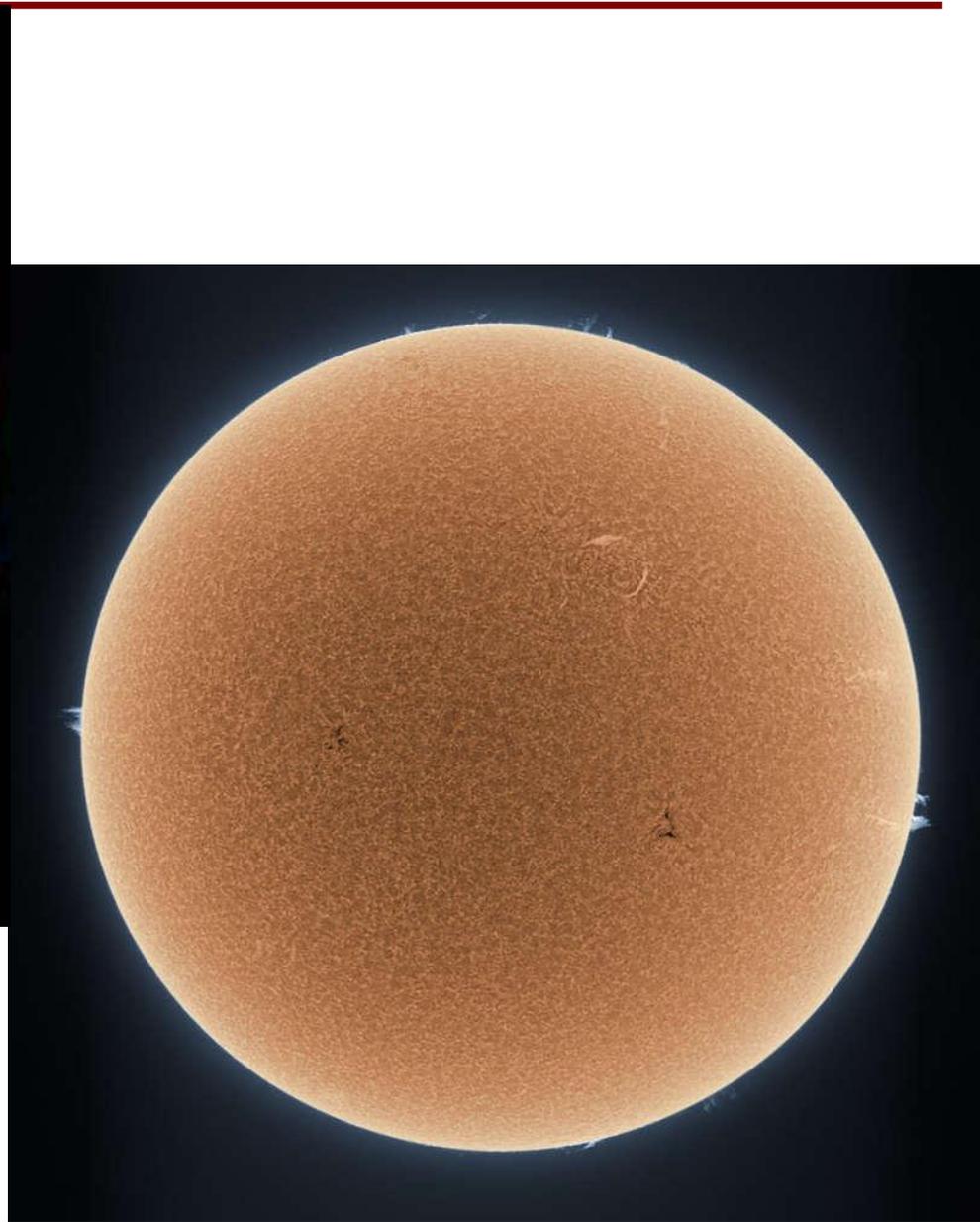
Иммануил Кант



...есть надежда, что Вселенная подчиняется какому-то порядку, который мы можем отчасти постигнуть. Возможно, эта надежда – всего лишь мираж.... Но, несомненно, лучше стремиться к полному пониманию, чем отчаяться в человеческом разуме.

Стивен Хокинг

Масса Солнца – 2 000 000 000 000 000 000 000 000 000 тонн!



Блеск звезды. Звездная величина

Люди склонны завышать число звезд, которые можно увидеть на небе невооруженным взглядом. Однако при самых благоприятных погодных условиях их можно насчитать **не более трех тысяч**.

Самые яркие звезды

Звезда	m	Созвездие
Сириде	-28,42	α Большого Пса
Канопус	-1,46	α Большого Пса α Киля
α Центавра	-0,72	α Центавра
Канопус	-0,72	α Киля
Арктур	-0,27	α Волопаса
α Центавра	-0,27	α Центавра
Вега	-0,05	α Лиры
Арктур	-0,05	α Волопаса
Капелла	0,08	α Возничего
Вега	0,08	α Лиры
Ригель	0,13	β Ориона
Капелла	0,13	α Возничего
Процион	0,38	α Малого Пса
Ригель	0,38	β Ориона
Ахернар	0,46	α Малого Пса
Процион	0,46	α Малого Пса
Бетельгейзе	0,50	α Ориона
Ахернар	0,50	α Ориона
Бетельгейзе	0,50	α Ориона

Блеск звезд измеряется в **звездных величинах** (^m). Условились считать, что световой поток от звезды первой величины (обозначается 1^m – от лат. «magnitudo», величина) в 2,512 раз больше, чем от звезды второй величины, которые в свою очередь, в 2,512 раз ярче звезд третьей величины, и т.д.

Так, звезда 5^m имеет в $2,512^5=100$ раз меньшую яркость, чем Вега (0^m).

Как измеряют расстояния в Космосе

Прямые методы

1. Метод лазерной локации

$$d = c \cdot t$$

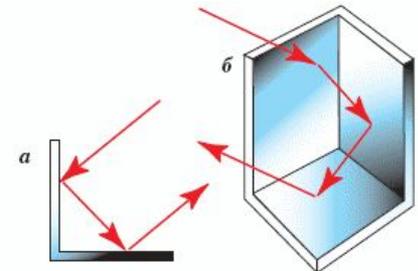
Здесь:

d – расстояние,
пройденное лазерным
лучом;

c – скорость сигнала
(скорость света, равная
300 тыс. км/с);

t – время
прохождения сигнала.

Угловой отражатель на Луноходе



Как измеряют расстояния в Космосе

2. Метод триангуляции

$$\frac{a}{2d} = \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} \approx \sin \frac{\varphi}{2} \approx \frac{\varphi}{2}$$

(см. первый замечательный предел)

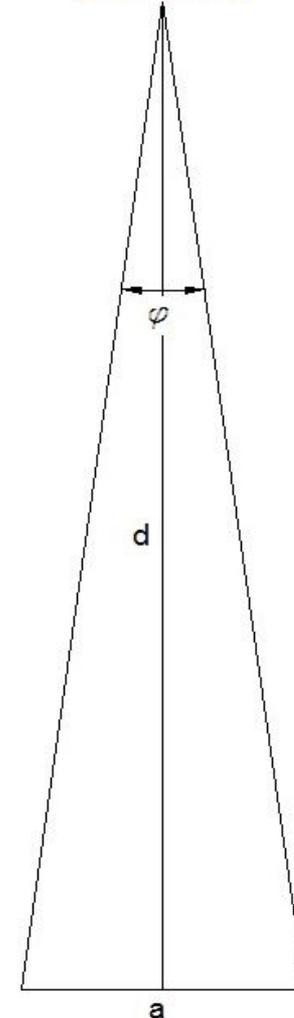
φ

Отсюда:

$$d = \frac{a}{\varphi}$$

Здесь a - база дальномера,

φ угол (параллакс), на который смещается удаленный объект.



Как измеряют расстояния в Космосе

База	Объекты	Время между наблюдениями
диаметр Земли	Планеты Солнечной системы	12 часов
Радиус Земной орбиты (а.е.)	Ближайшие звезды	1/2 года

Как измеряют расстояния в Космосе

Парсек — расстояние, с которого средний радиус земной орбиты (равный 1 а. е.), перпендикулярный лучу зрения, виден под углом в одну угловую секунду (1")

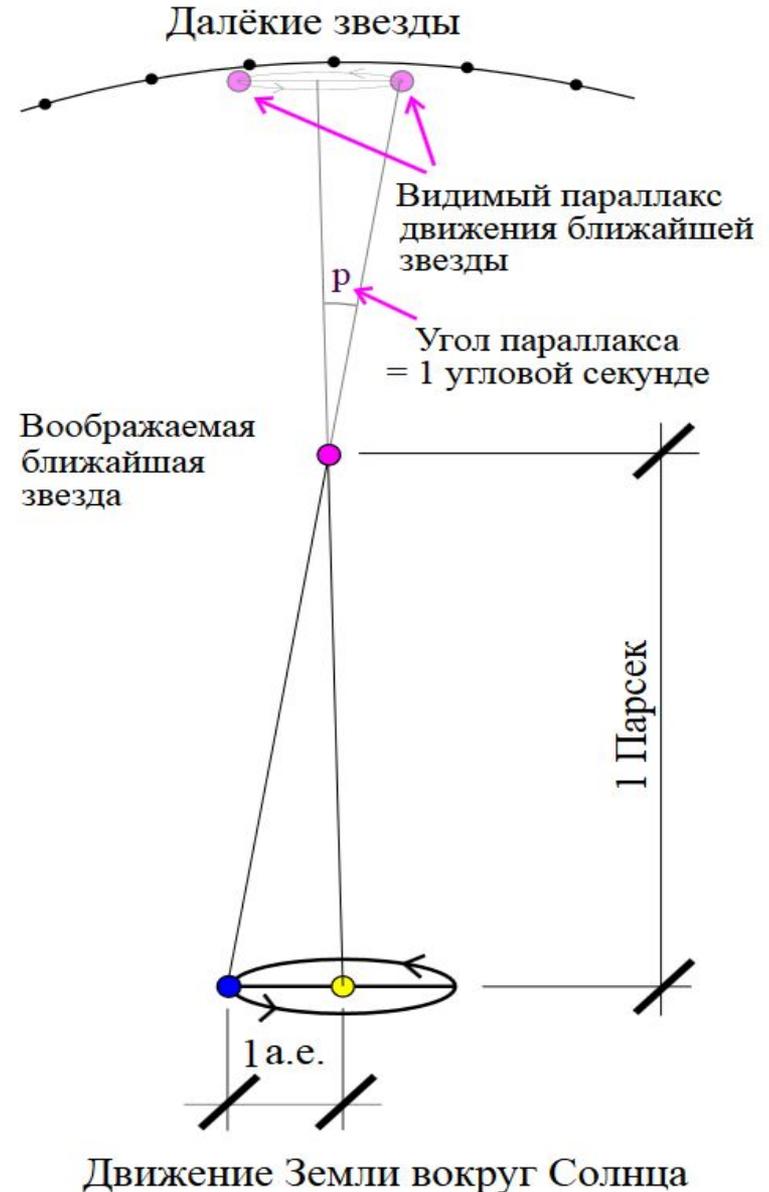
$$1 \text{ пк} = \frac{360 \cdot 60 \cdot 60}{2\pi} \text{ а. е.} \approx$$

$$\approx 206\,264,8 \text{ а. е.} =$$

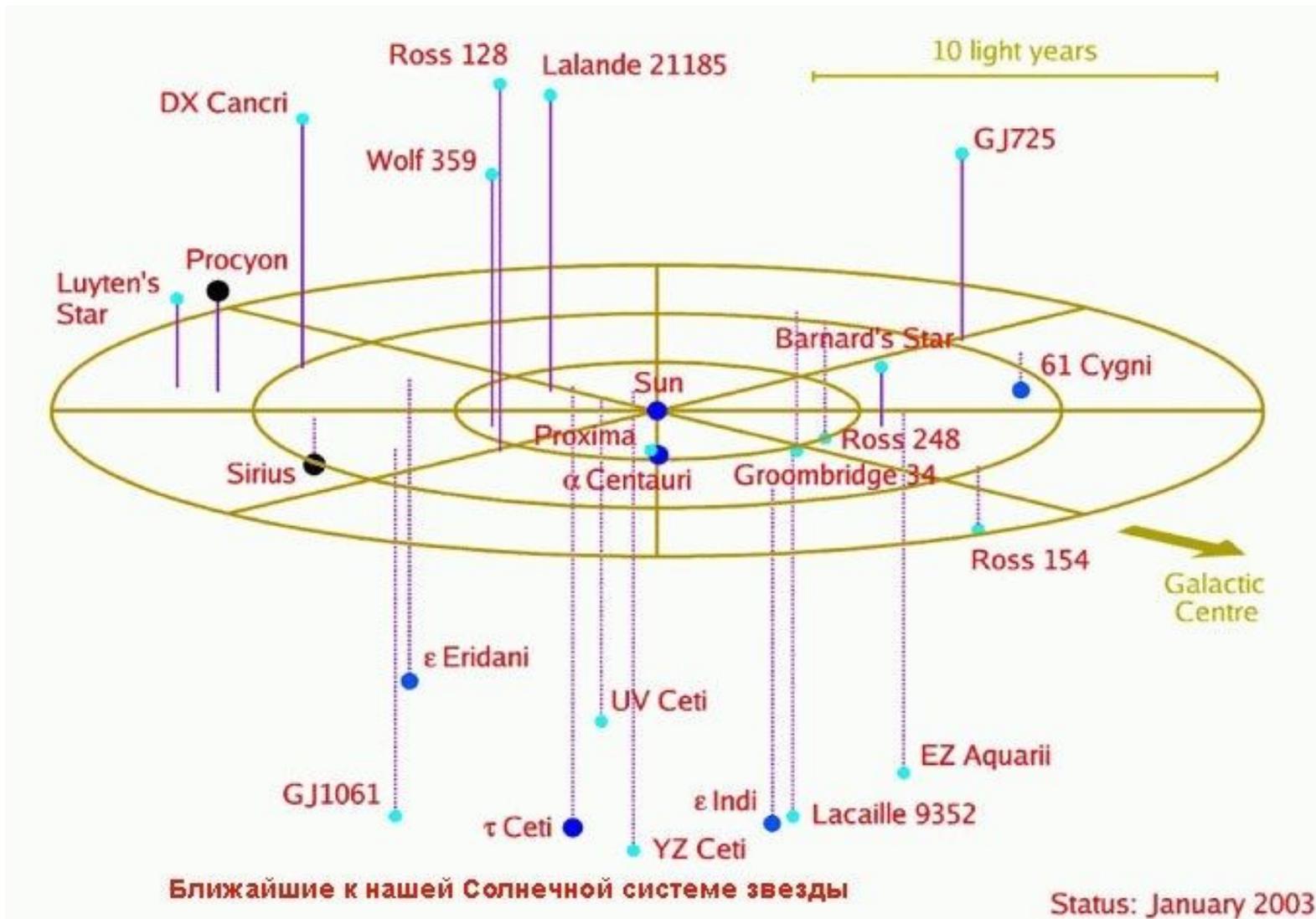
$$= 3,0856776 \cdot 10^{16} \text{ м} =$$

$$= 30,8568 \text{ трлн. км (петаметров)} =$$

$$= 3,2616 \text{ светового года.}$$



Как измеряют расстояния в Космосе



Как измеряют расстояния в Космосе

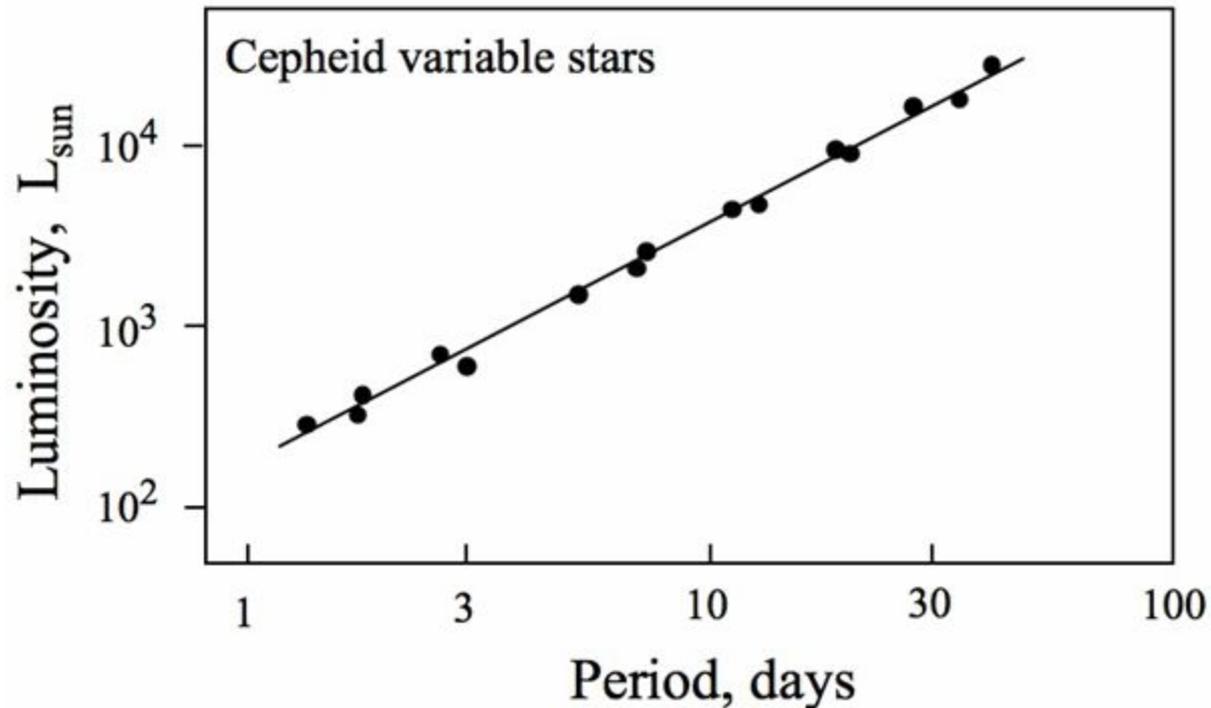
Некоторые расстояния [\[править \]](#) [\[править вики-текст \]](#)

- 1 астрономическая единица (а. е.) составляет $4,848 \cdot 10^{-6}$ парсека;
- По состоянию на 7 марта 2011 года, космический аппарат «Вояджер-1» находился на расстоянии 0,000564 пк (17,4 млрд км, или 116 а. е.) от Солнца^[3], удаляясь по 17,5 микропарсек за год (3,6 а. е./год);
- Диаметр облака Оорта $\approx 0,62$ пк;
- Расстояние от Солнца до ближайшей звезды (Проксима Центавра) составляет 1,3 парсека;
- Расстояние в 10 пк свет проходит за 32 года 7 месяцев и 6 дней (от Солнца до Земли свет проходит в среднем за 8,31 минуты, что составляет 4,8 мкпк (микропарсек)).
- Расстояние от Солнца до центра нашей Галактики — около 8 кпк;
- Диаметр нашей Галактики около 30 кпк;
- Расстояние до туманности Андромеды — 0,77 Мпк;
- Ближайшее крупное скопление галактик, скопление Девы, находится на расстоянии 18 Мпк;
- На масштабах порядка 300 Мпк Вселенная практически однородна^[4]
- До горизонта наблюдаемой Вселенной — около 4 Гпк (если измерять расстояние, пройденное регистрируемым на Земле светом), или, если оценивать современное расстояние — с учётом расширения Вселенной (то есть до удалившихся объектов, это излучение когда-то испустивших) ≈ 14 Гпк^[5];

Как измеряют расстояния в Космосе

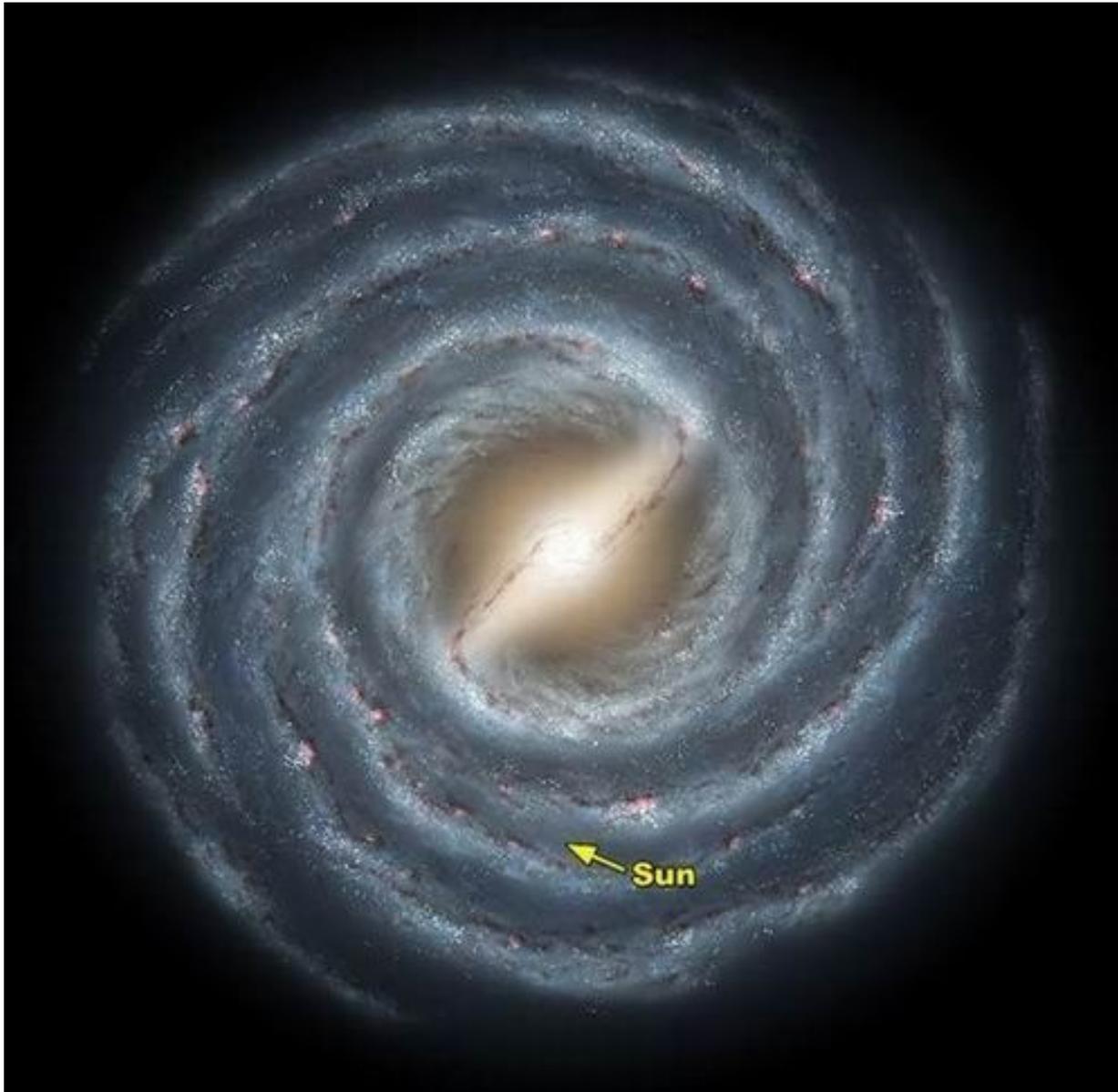
Косвенные методы

3. По ослаблению света от звезд, излучающих известный световой поток (**цефеиды**, или «**стандартные свечи**»)



Зависимость яркости цефеиды от периода изменения ее блеска

Как измеряют расстояния в Космосе



Максимальные
расстояния до
отдельных цефеид -
наша Галактика
(порядка 100000
световых лет,
ближайшие галактики,
(Магеллановы облака,
Туманность
Андромеды).

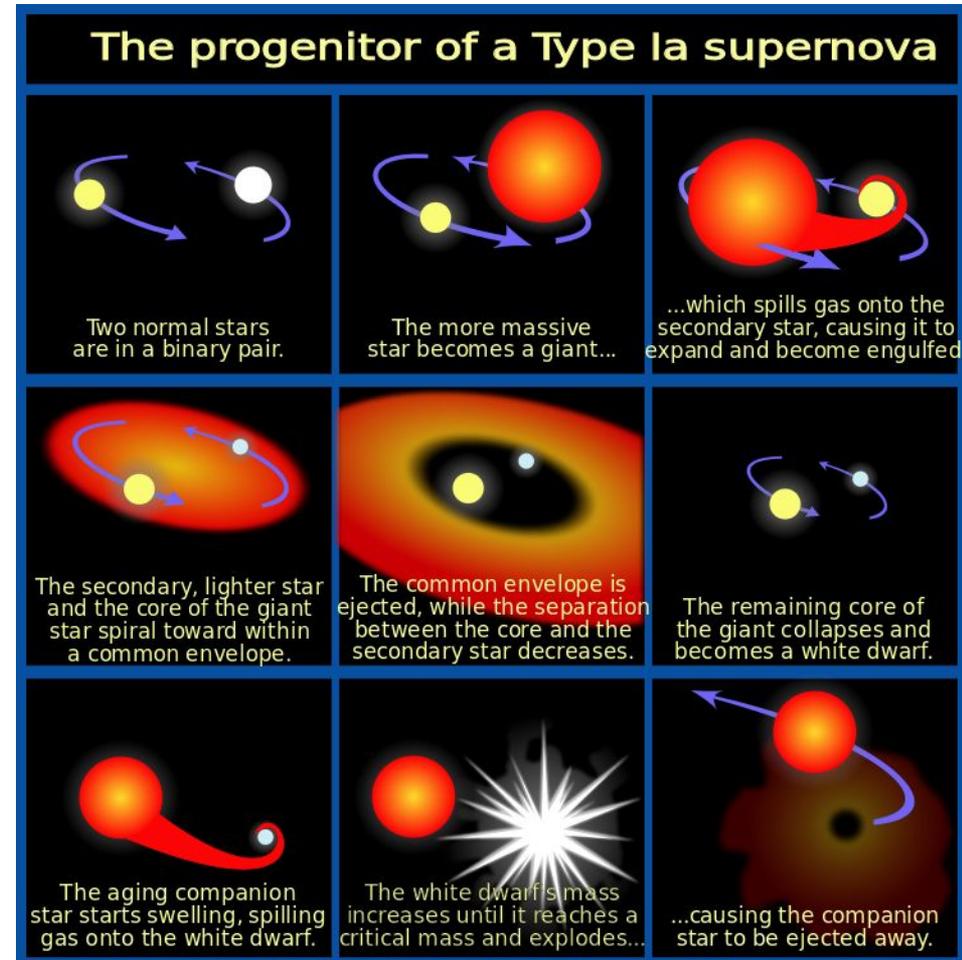
Далее – отдельные
звезды неразличимы.

Галактика

Как измеряют расстояния в Космосе

4. Использование в качестве стандартной свечи вспышки сверхновых типа Ia (нет в излучении линий водорода)

Звезда в конце своей эволюции становится сверхплотным “белым карликом”. Если она входит в систему из двух звезд, и на нее перетекает вещество с 2-го компаньона, при достижении ее массы **предела Чандрасекара** давление в её недрах резко возрастает, и происходит термоядерный взрыв. Так как критическое значение массы такой звезды всегда постоянно (чуть более 1,4 массы Солнца), то энергия, излучаемая в результате такого взрыва всегда примерно одна и та же. Следовательно, такую вспышку можно принять за **эталон**, видимый блеск которой зависит только от расстояния.



Как измеряют расстояния в Космосе

5. Использование **закона Хаббла**

$$v = H_0 r$$

Здесь v - скорость галактики,

r - расстояние до нее,

H_0 - постоянная Хаббла

$$H_0 = (67,80 \pm 0,77) \text{ (км/с)/Мпк.}$$

Скорость v фиксируется

по красному смещению линий

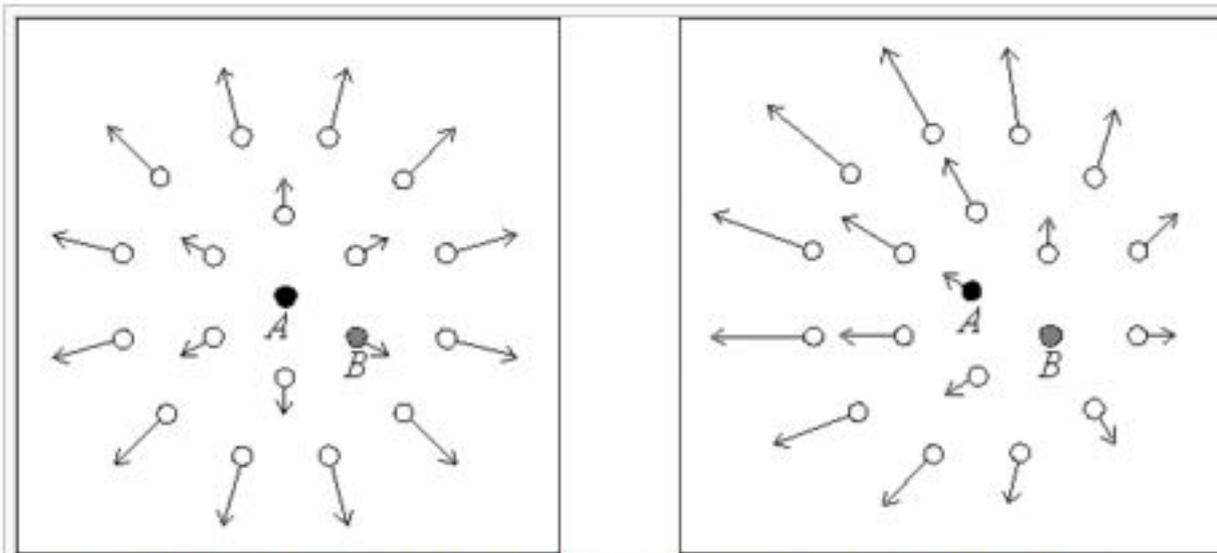
излучений (**закон Доплера**)



Возраст Вселенной

Время жизни (возраст)
Вселенной:

$$t_H = \frac{r}{v} = \frac{1}{H_0}$$



График, иллюстрирующий независимость закона Хаббла от положения галактики, из которой производится наблюдение. Слева: точка наблюдения — галактика А, справа: точка наблюдения — галактика В.

Виды звезд

Абсолютная

звёздная величина -

определяется как видимая звёздная величина объекта, если бы он был расположен на расстоянии 10 парсек от наблюдателя.

Абсолютная

звёздная величина Солнца +4,7.

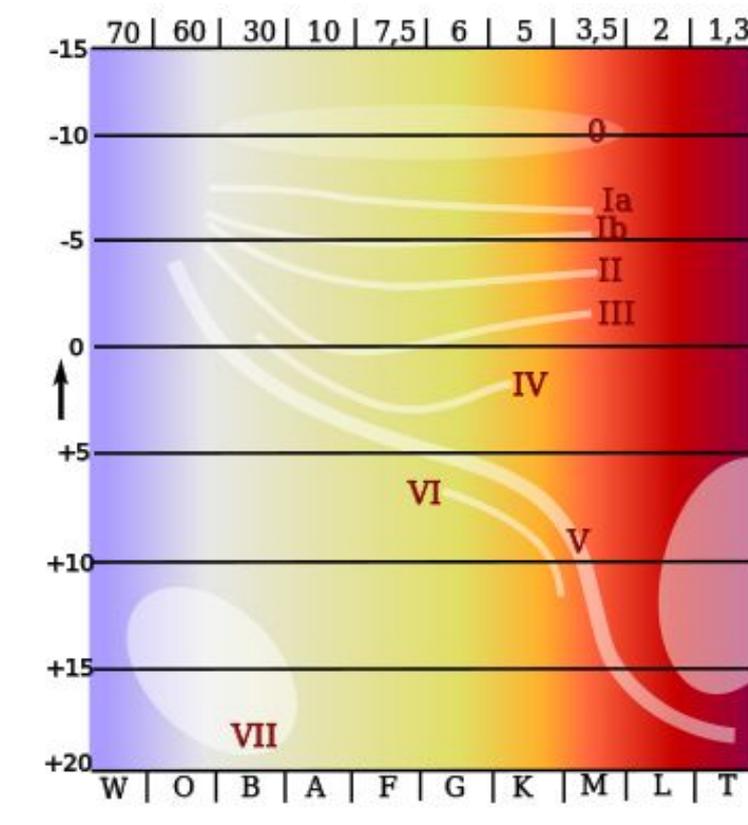
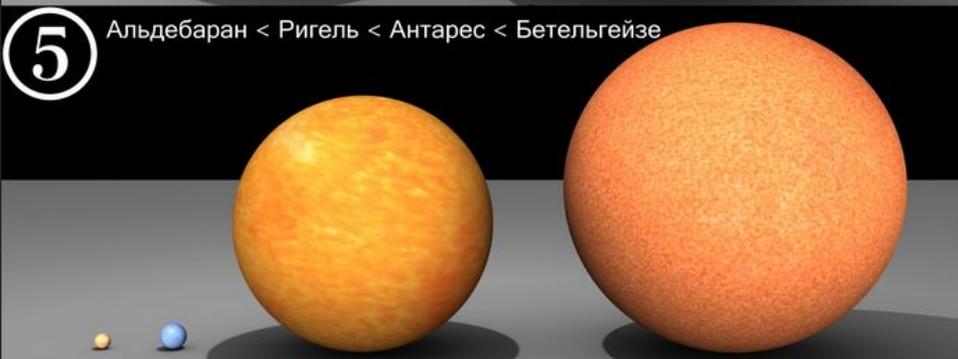
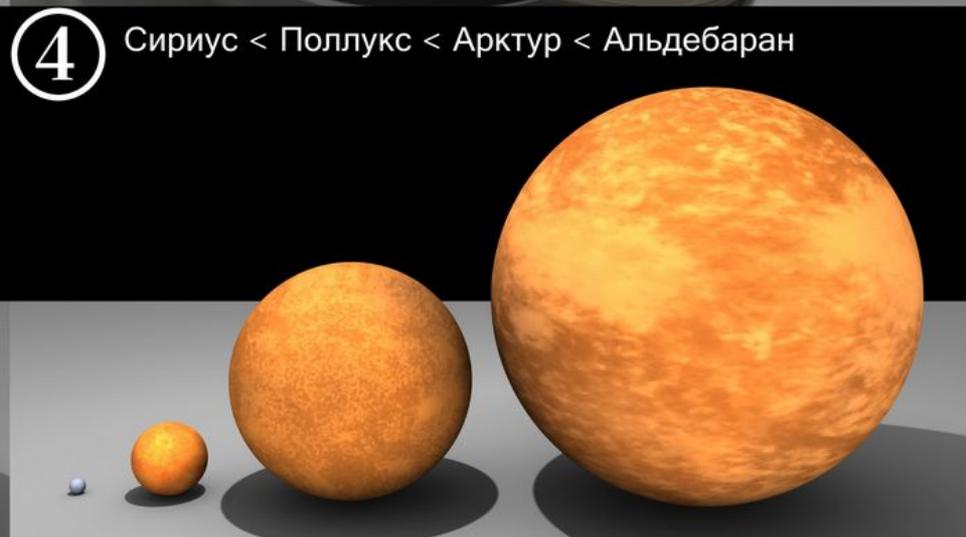
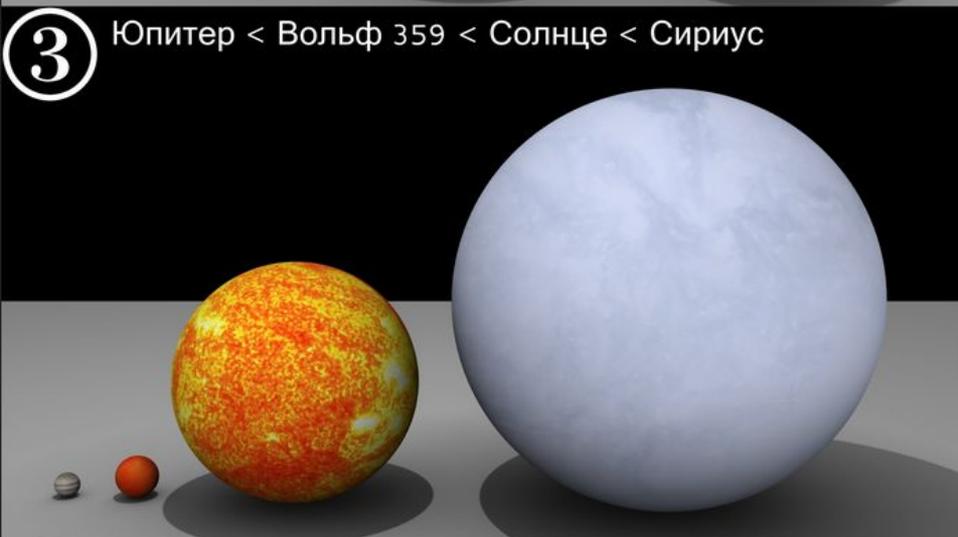
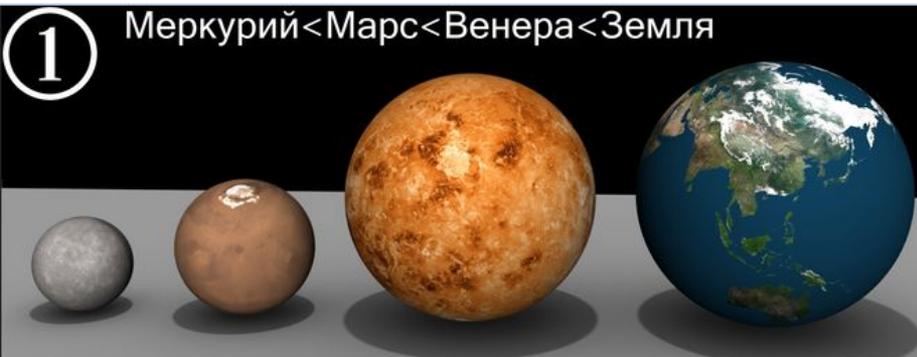


Диаграмма Герцшпрунга-Рассела

Звёзды главной последовательности

Класс	Температура, К	Истинный цвет
O	30 000—60 000	голубой
B	10 000—30 000	бело-голубой
A	7500—10 000	белый
F	6000—7500	жёлто-белый
G	5000—6000	жёлтый
K	3500—5000	оранжевый
M	2000—3500	красный

Размеры звезд



Типы звезд

Коричневые карлики

- тип звёзд, в которых потери энергии на излучение больше выделяемой энергии ядерных реакций



Типы звезд

Белые карлики –

проэволюционировавшие звезды с массой, не превышающей **предел Чандрасекара**, лишённые собственных источников термоядерной энергии.

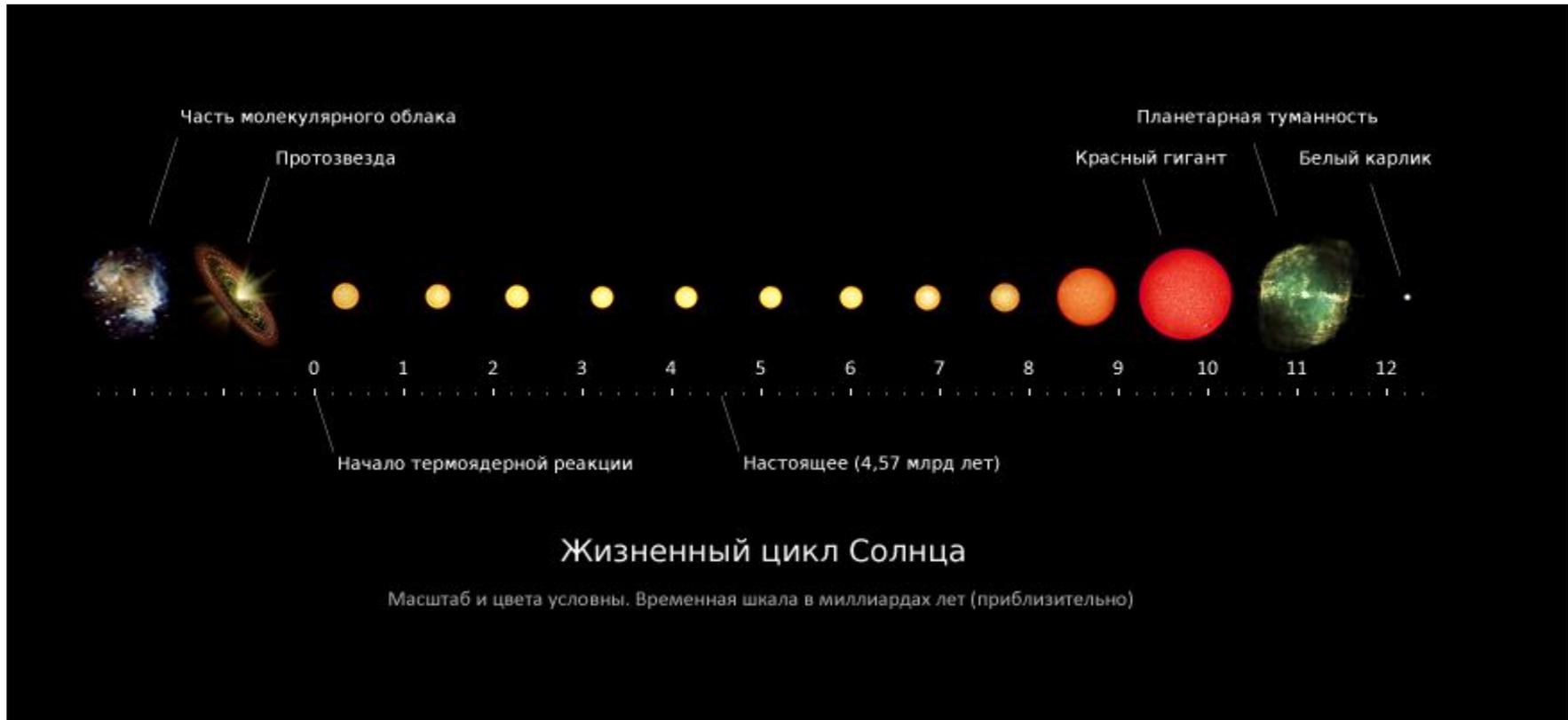
Звёзды с массой выше определённого предела неустойчивы и должны под действием гравитационных сил коллапсировать.

Результат:

- а) нейтронная звезда + вспышка сверхновой*
- б) черная дыра*

Типы звезд

Красные гиганты - звёзды поздних спектральных классов с высокой светимостью и протяжёнными оболочками.

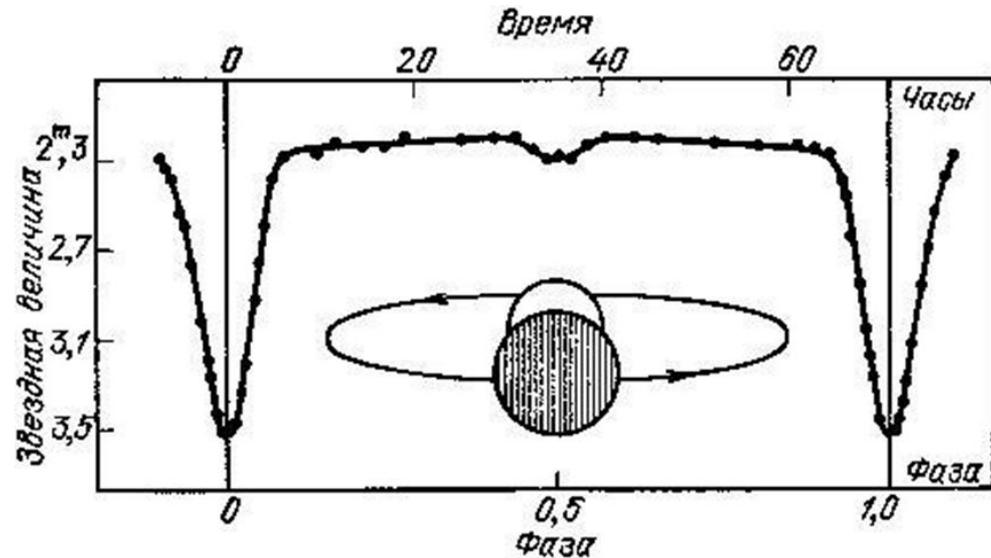
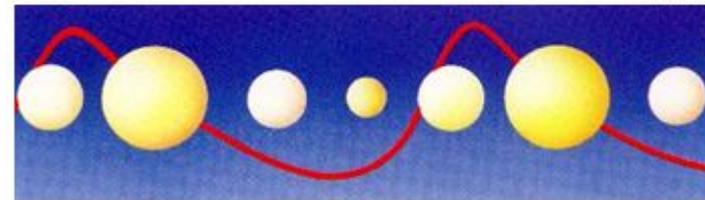
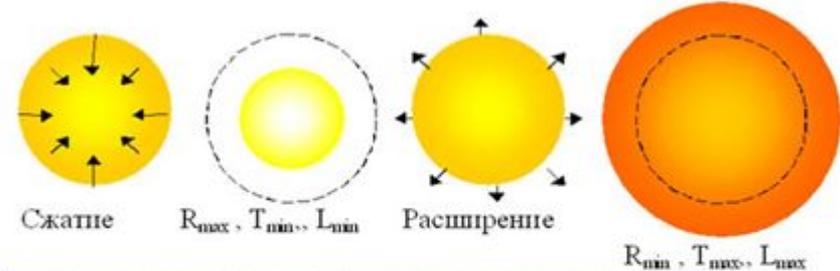


Размеры Солнца через 5 млрд. лет вырастут как минимум в 200 раз, то есть почти до современной земной орбиты

Типы звезд

Переменные звёзды, в том числе:

- Эруптивные (нерегулярные) переменные звёзды
- Пульсирующие переменные звёзды
- Вращающиеся переменные звёзды
- Затменно-двойные системы

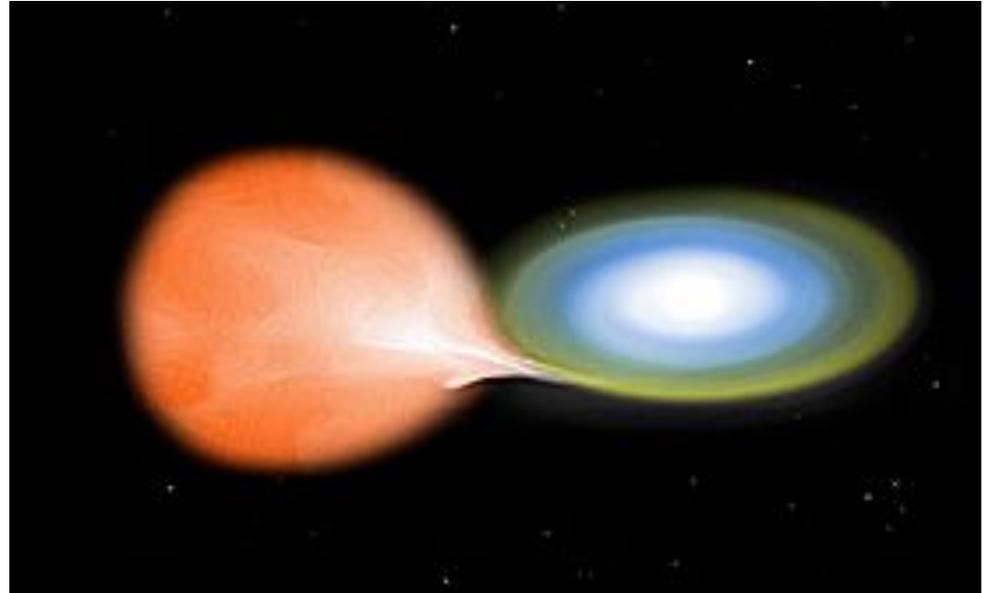


Изменение блеска Алголя и схема затмений

Типы звезд

Новые –

- звёзды, светимость которых периодически внезапно увеличивается в $\sim 10^3$ — 10^6 раз, блеск — на ~ 12 звёздных величин



Аккреция на белый карлик в тесной двойной системе (в представлении художника)

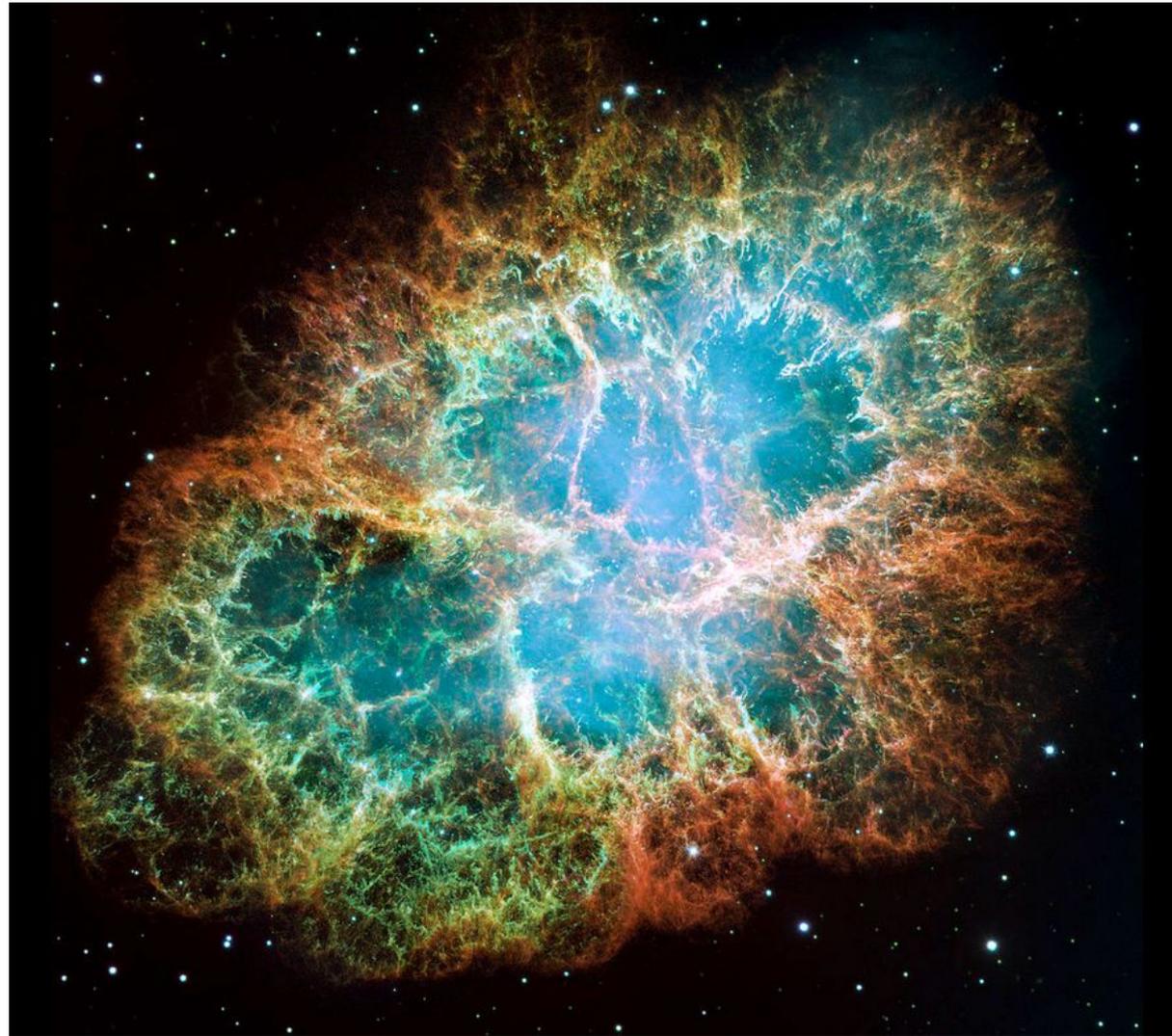
Взрывоподобное ускорение реакций термоядерного синтеза в богатой водородом оболочке, температура резко возрастает до снятия вырождения при данной плотности, и формируется ударная волна, сбрасывающая верхний слой водородной оболочки белого карлика в окружающее пространство.

Все новые звёзды являются тесными двойными системами, состоящими из белого карлика и звезды-компаньона.

Типы звезд

Сверхновая

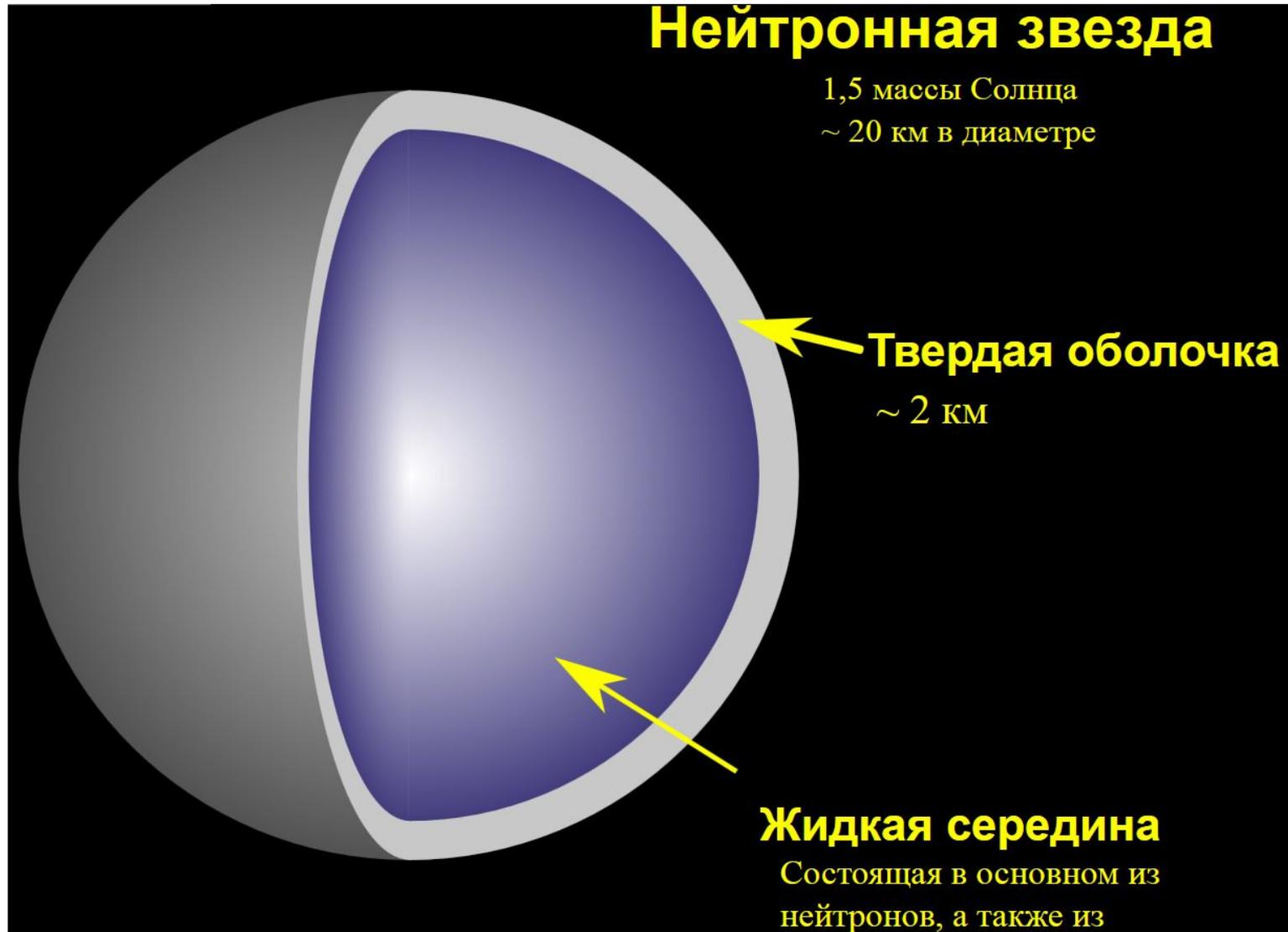
- звезда,
заканчивающая свою
эволюцию в
катастрофическом
взрывном процессе



Крабовидная туманность как
остаток сверхновой SN 1054

Типы звезд

Нейтронные звёзды



Звездные системы

Двойные звёзды

Тесные двойные звёзды (обмен вещества)

Звездные скопления, в том числе:

- шаровые
- рассеянные
- ассоциации

Галактики

Ядерные реакции

Протон-протонный цикл

- $p + p \rightarrow {}^2\text{D} + e^+ + \nu_e + 0,4 \text{ МэВ}$
- ${}^2\text{D} + p \rightarrow {}^3\text{He} + \gamma + 5,49 \text{ МэВ}$.
- ${}^3\text{He} + {}^3\text{He} \rightarrow {}^4\text{He} + 2p + 12,85 \text{ МэВ}$.

Основные цепочки

CNO-цикл

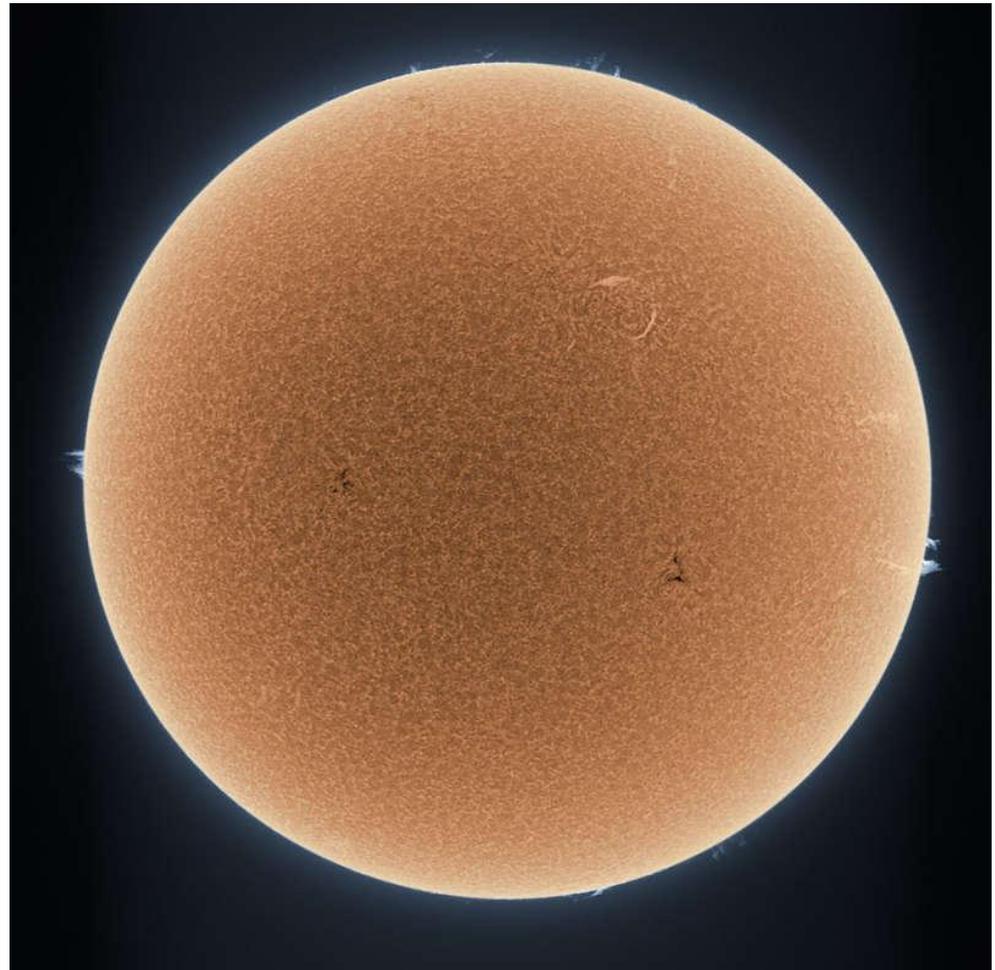
- ${}^{12}\text{C} + {}^1\text{H} \rightarrow {}^{13}\text{N} + \gamma + 1,95 \text{ МэВ}$
- ${}^{13}\text{N} \rightarrow {}^{13}\text{C} + e^+ + \nu_e + 1,37 \text{ МэВ}$
- ${}^{13}\text{C} + {}^1\text{H} \rightarrow {}^{14}\text{N} + \gamma + 7,54 \text{ МэВ}$
- ${}^{14}\text{N} + {}^1\text{H} \rightarrow {}^{15}\text{O} + \gamma + 7,29 \text{ МэВ}$
- ${}^{15}\text{O} \rightarrow {}^{15}\text{N} + e^+ + \nu_e + 2,76 \text{ МэВ}$
- ${}^{15}\text{N} + {}^1\text{H} \rightarrow {}^{12}\text{C} + {}^4\text{He} + 4,96 \text{ МэВ}$

Звездная эволюция

малые массы $0.08M_{\text{sun}} < M_* < 0.5M_{\text{sun}}$	умеренные массы $0.5M_{\text{sun}} < M_* < 8M_{\text{sun}}$		массивные звёзды $8M_{\text{sun}} < M_* < 60-100M_{\text{sun}}$	
	$0.5M_{\text{sun}} < M_* < 3M_{\text{sun}}$	$3M_{\text{sun}} < M_* < 8M_{\text{sun}}$	$8M_{\text{sun}} < M_* < 10M_{\text{sun}}$	$M_* > 10M_{\text{sun}}$
горение водорода в ядре				
гелиевые белые карлики	вырожденное He ядро	невырожденное He ядро		
	гелиевая вспышка			
спокойное горение гелия в ядре				
	C, O белый карлик		вырожденное CO ядро	невырожденное CO ядро
			углеродная детонация	горение углерода в ядре: CO в Fe
			горение углерода в ядре: C в O, Ne, Si, Fe, Ni...	
			O, Ne, Mg... белый карлик или нейтронная звезда	чёрная дыра

Звездная эволюция

Звезда начинает свою жизнь как холодное разряженное облако межзвёздного газа, сжимающееся под действием собственного тяготения и постепенно принимающее форму шара. При сжатии энергия гравитации переходит в тепло, и температура объекта возрастает. Когда температура в центре достигает 15—20 миллионов К, начинаются термоядерные реакции и сжатие прекращается. Объект становится полноценной звездой.



Благодарю за внимание!

Теоретическая механика

Леготин Сергей Дмитриевич

