

# Астрономия

## **Звезды.**

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

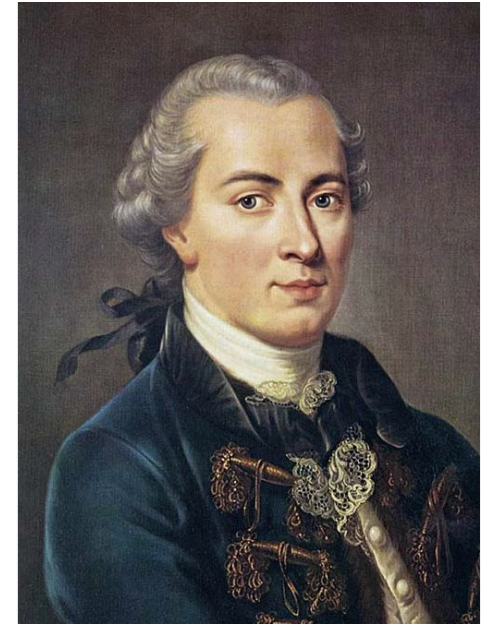
**Леготин Сергей Дмитриевич**

**К.Т.Н., доцент**



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

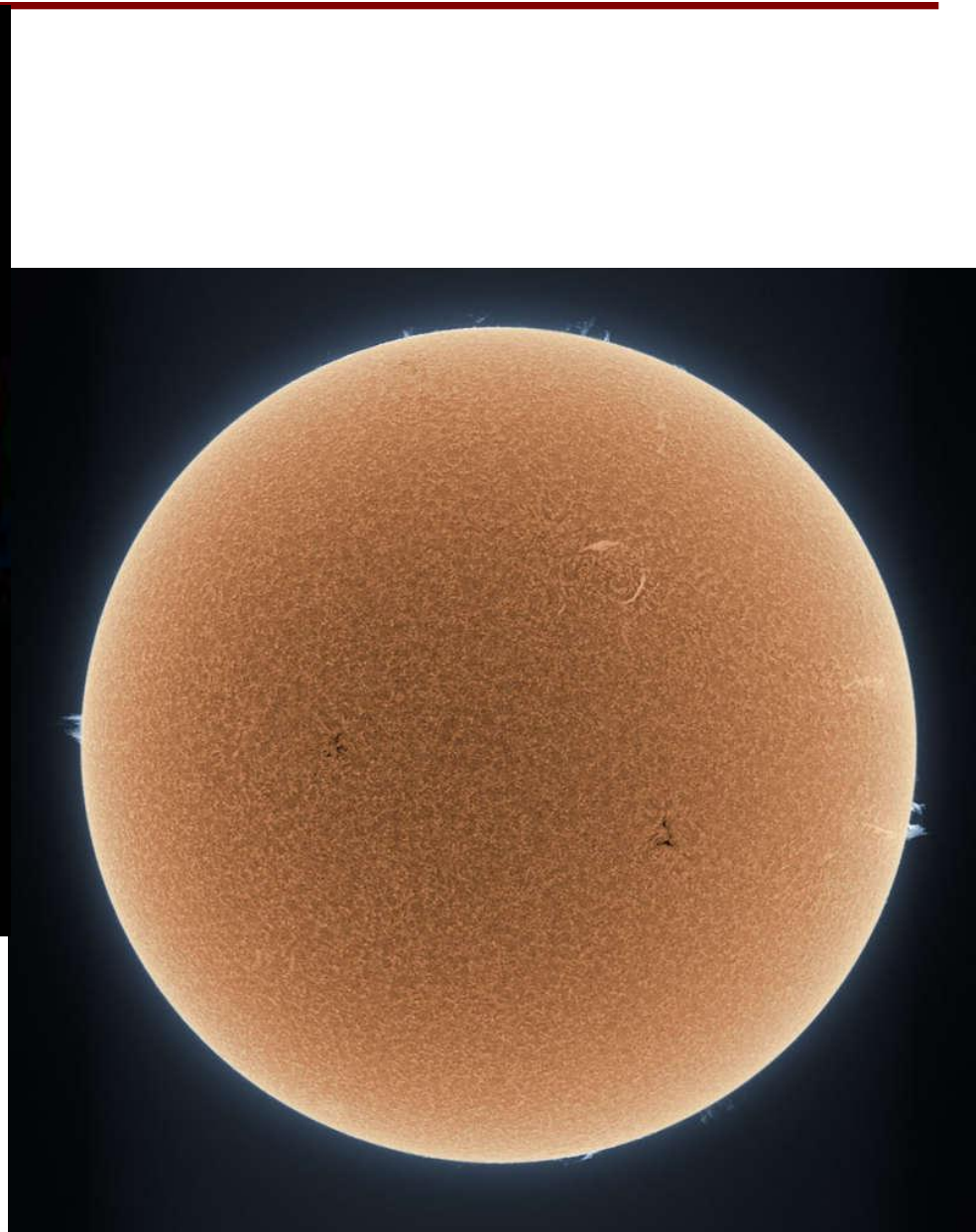
Иммануил Кант



...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	$\alpha$ Большого Пса
Канопус	-1,46	$\alpha$ Киля
$\alpha$ Центавра	-0,72	$\alpha$ Большого Пса
Канопус	-0,72	$\alpha$ Центавра
Арктур	-0,27	$\alpha$ Киля
$\alpha$ Центавра	-0,27	$\alpha$ Волопаса
Вега	-0,05	$\alpha$ Лиры
Арктур	-0,05	$\alpha$ Волопаса
Капелла	0,08	$\alpha$ Возничего
Вега	0,08	$\alpha$ Лиры
Ригель	0,13	$\beta$ Ориона
Капелла	0,13	$\alpha$ Возничего
Процион	0,38	$\alpha$ Малого Пса
Ригель	0,38	$\beta$ Ориона
Ахернар	0,46	$\alpha$ Малого Пса
Ахернар	0,46	$\alpha$ Эридан
Бетельгейзе	0,50	$\alpha$ Ориона
Ахернар	0,50	$\alpha$ Эридан
Бетельгейзе	0,50	$\alpha$ Ориона

Блеск звезд измеряется в **звездных величинах** (<sup>m</sup>). Условились считать, что световой поток от звезды первой величины (обозначается 1<sup>m</sup> – 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<sup>m</sup> имеет в  $2,512^5=100$  раз меньшую яркость, чем Вега (0<sup>m</sup>).

# Как измеряют расстояния в Космосе

## Прямые методы

### 1. Метод лазерной локации

$$d = c \cdot t$$

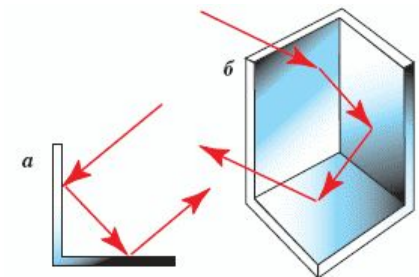
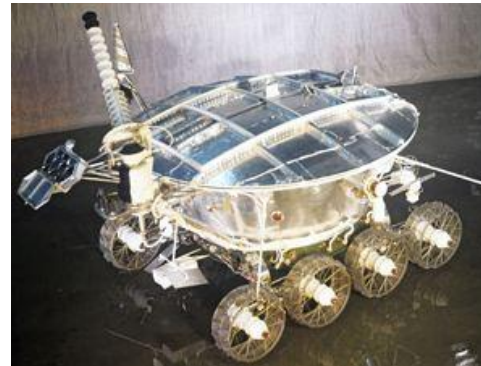
Здесь:

$d$  – расстояние,  
пройденное лазерным  
лучом;

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

$t$  – время  
прохождения сигнала.

## Уголковый 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)

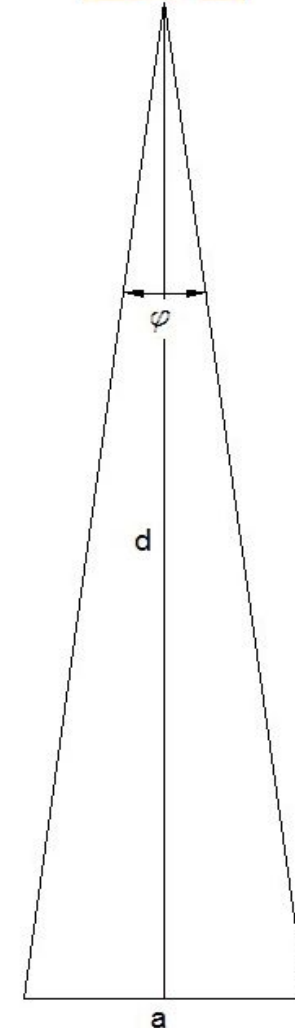
$\varphi$

Отсюда:

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

Здесь  $a$ - база дальномера,

$\varphi$  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")

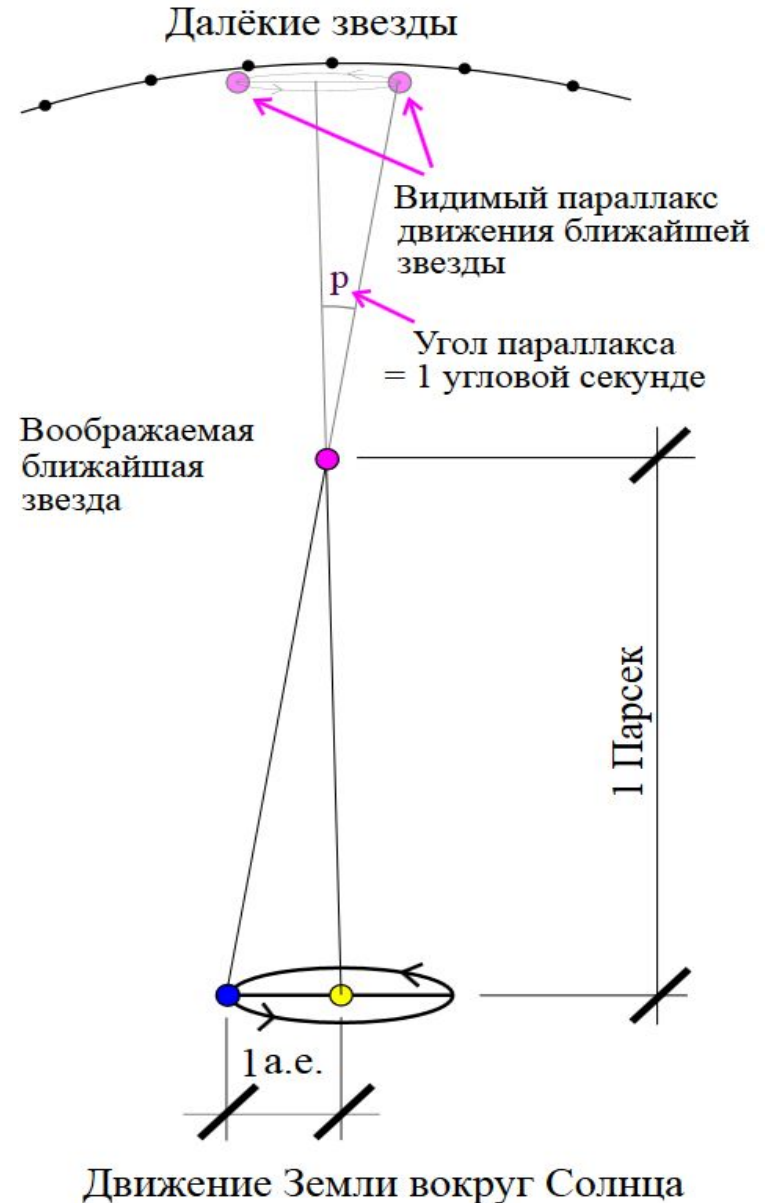
$$1 \text{ пк} = \frac{360 \cdot 60 \cdot 60}{2\pi} \text{ а. е.} \approx$$

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

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

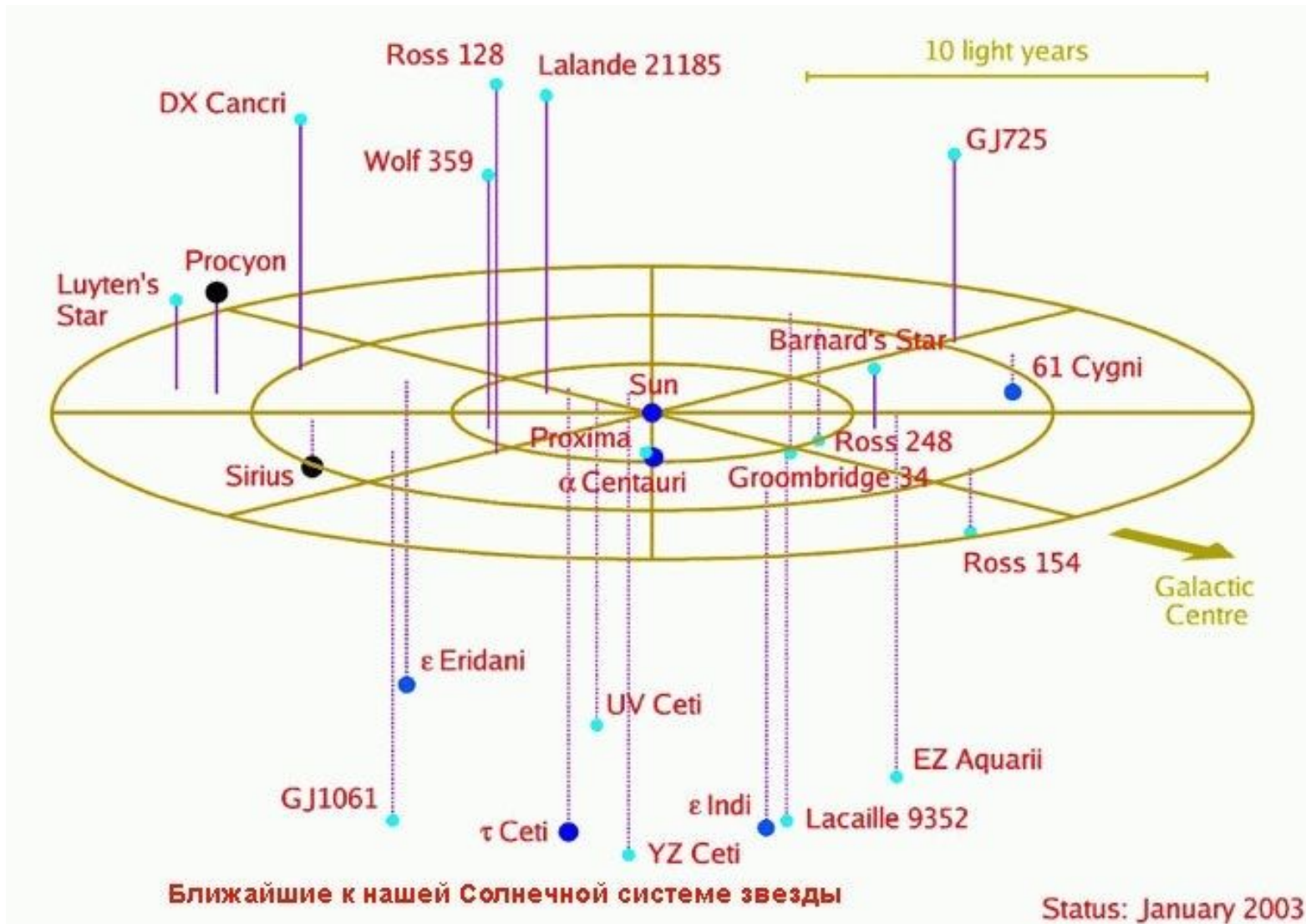
$$= 30,8568 \text{ трлн. км (петаметров)} =$$

$$= 3,2616 \text{ светового года.}$$





# Как измеряют расстояния в Космосе



# Как измеряют расстояния в Космосе

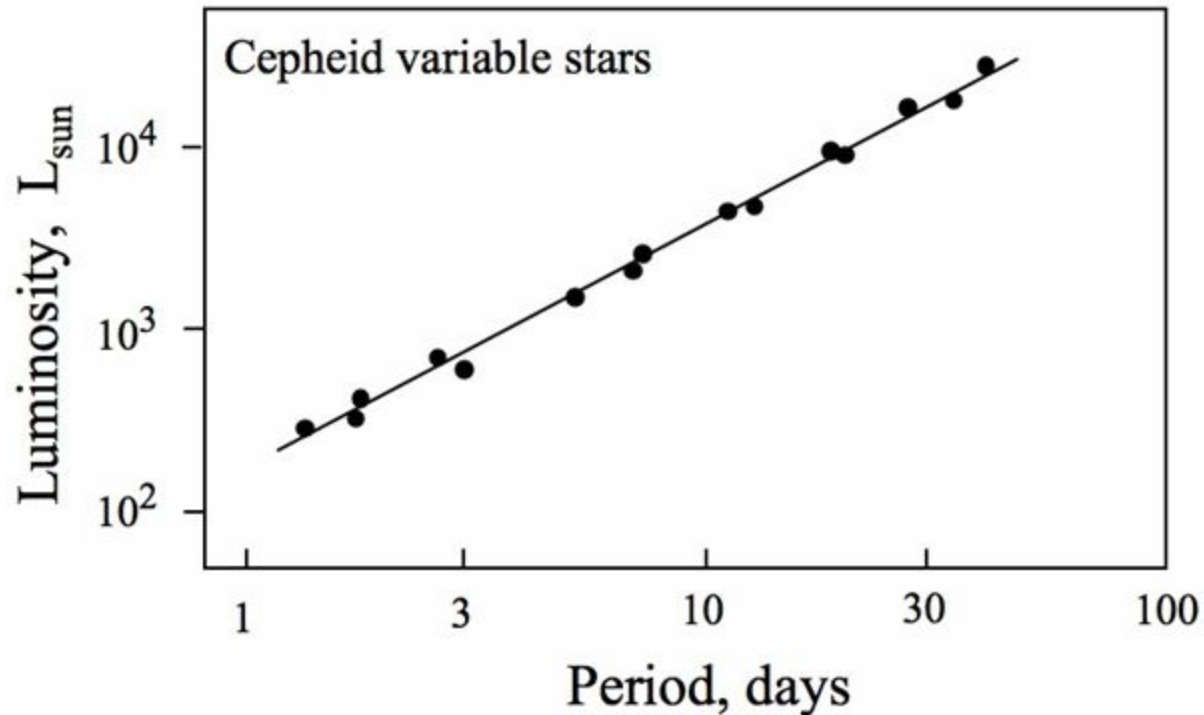
## Некоторые расстояния  [\[ править \]](#) [\[ править вики-текст \]](#)

- 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<sup>[3]</sup>, 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 мпк (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<sup>[4]</sup>
- 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)  $\approx 14$  Гпк<sup>[5]</sup>;

# Как измеряют расстояния в Космосе

## Косвенные методы

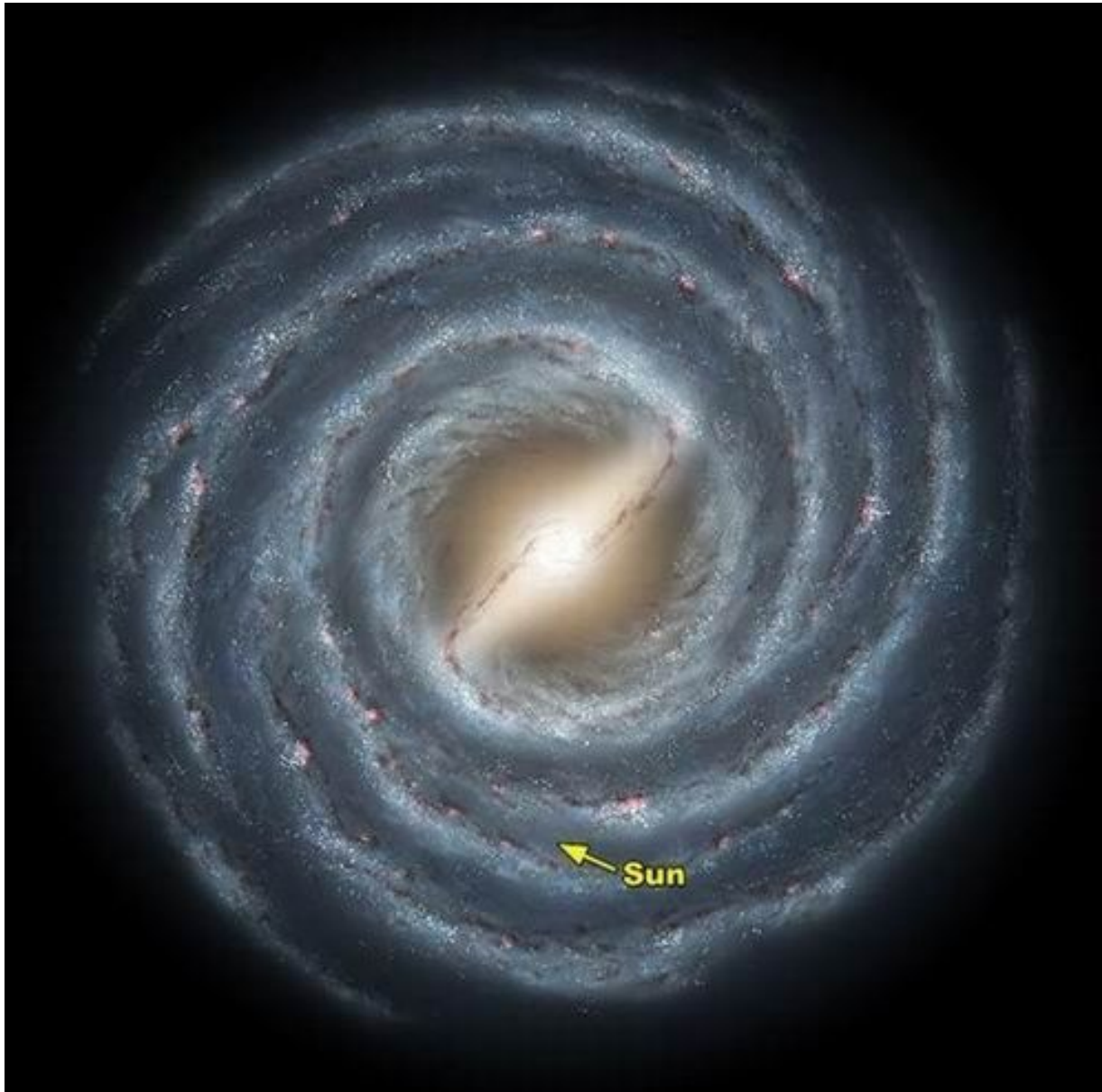
3. По ослаблению света от звезд, излучающих известный световой поток (**цефеиды**, или «**стандартные свечи**»)



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).

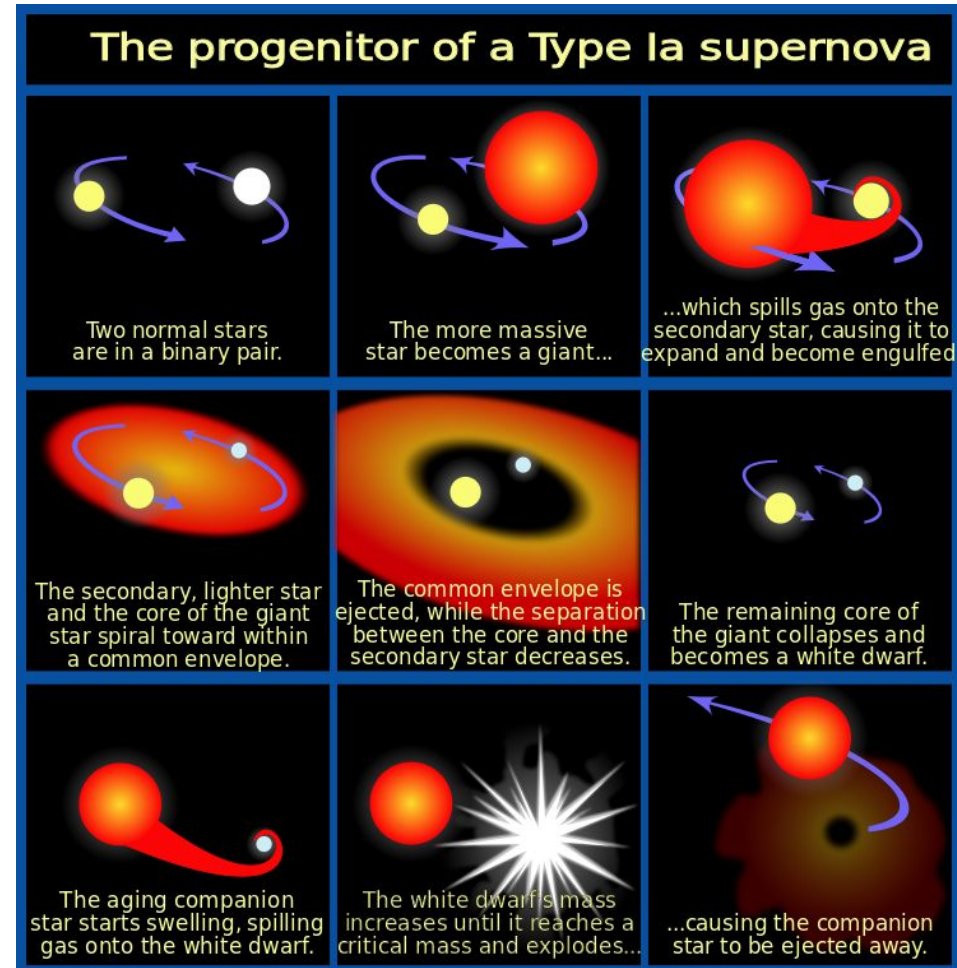
Далее – отдельные звезды неразличимы.

*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**)

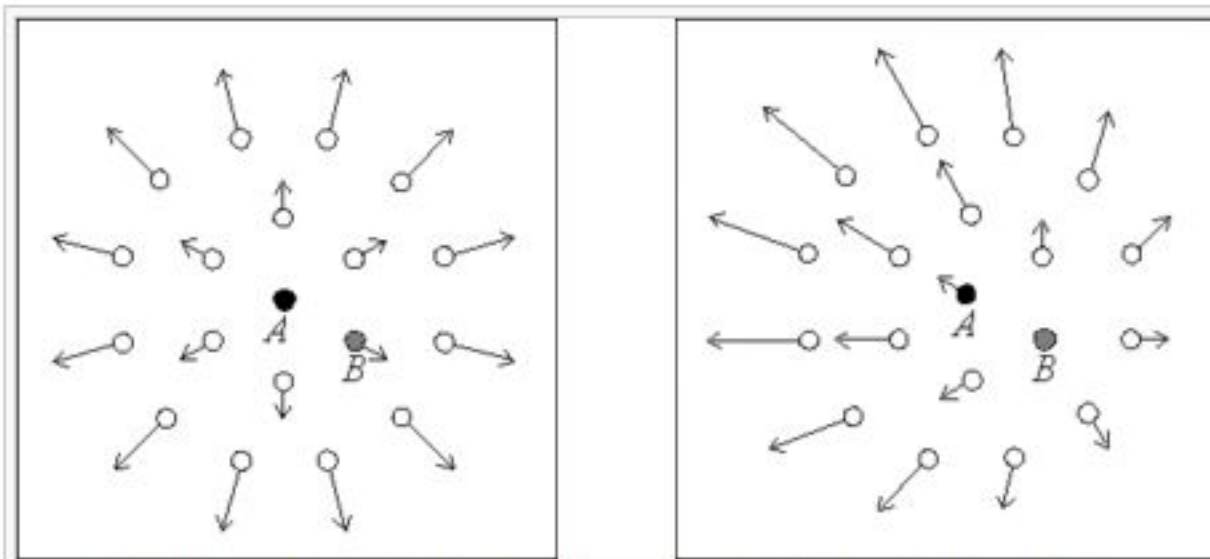




# Возраст Вселенной

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.

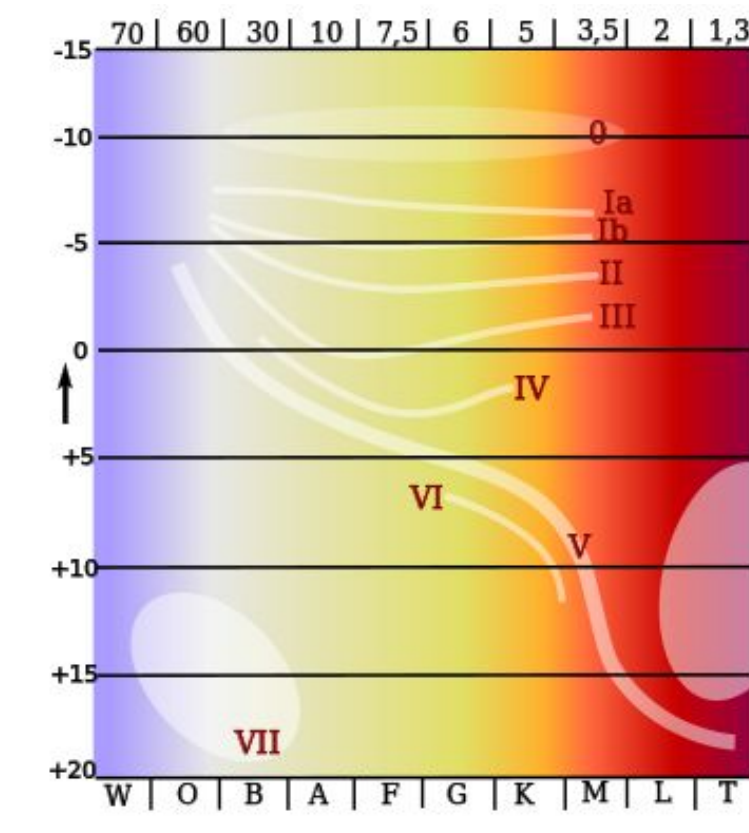
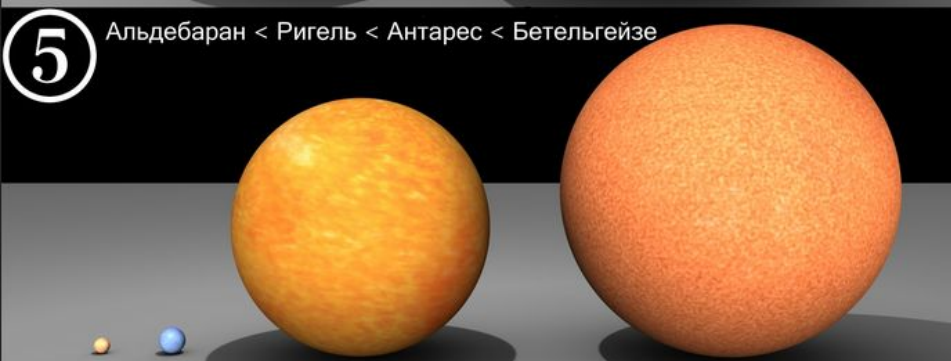
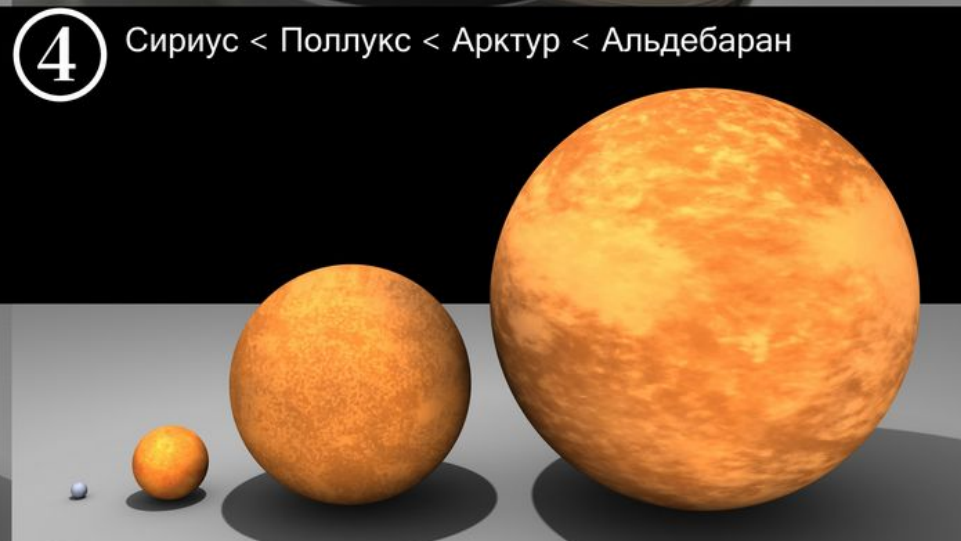
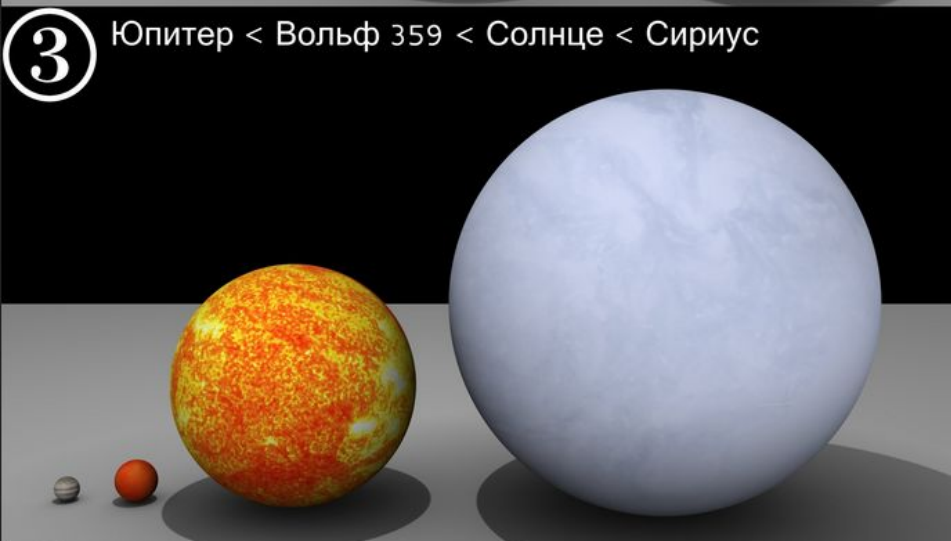
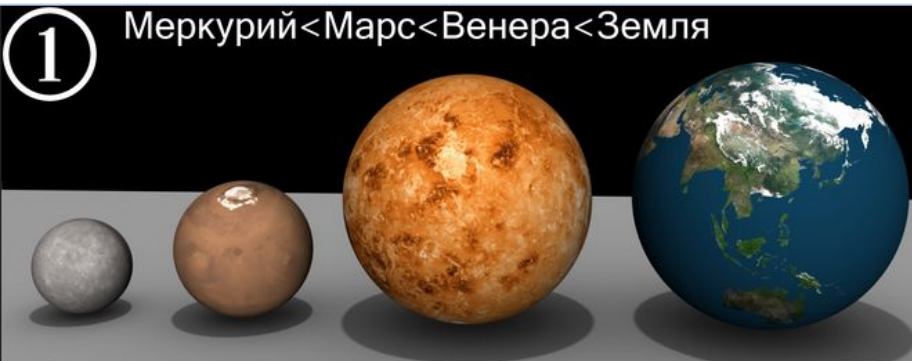


Диаграмма Герцшпрунга-Рассела

## *Звёзды главной последовательности*

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

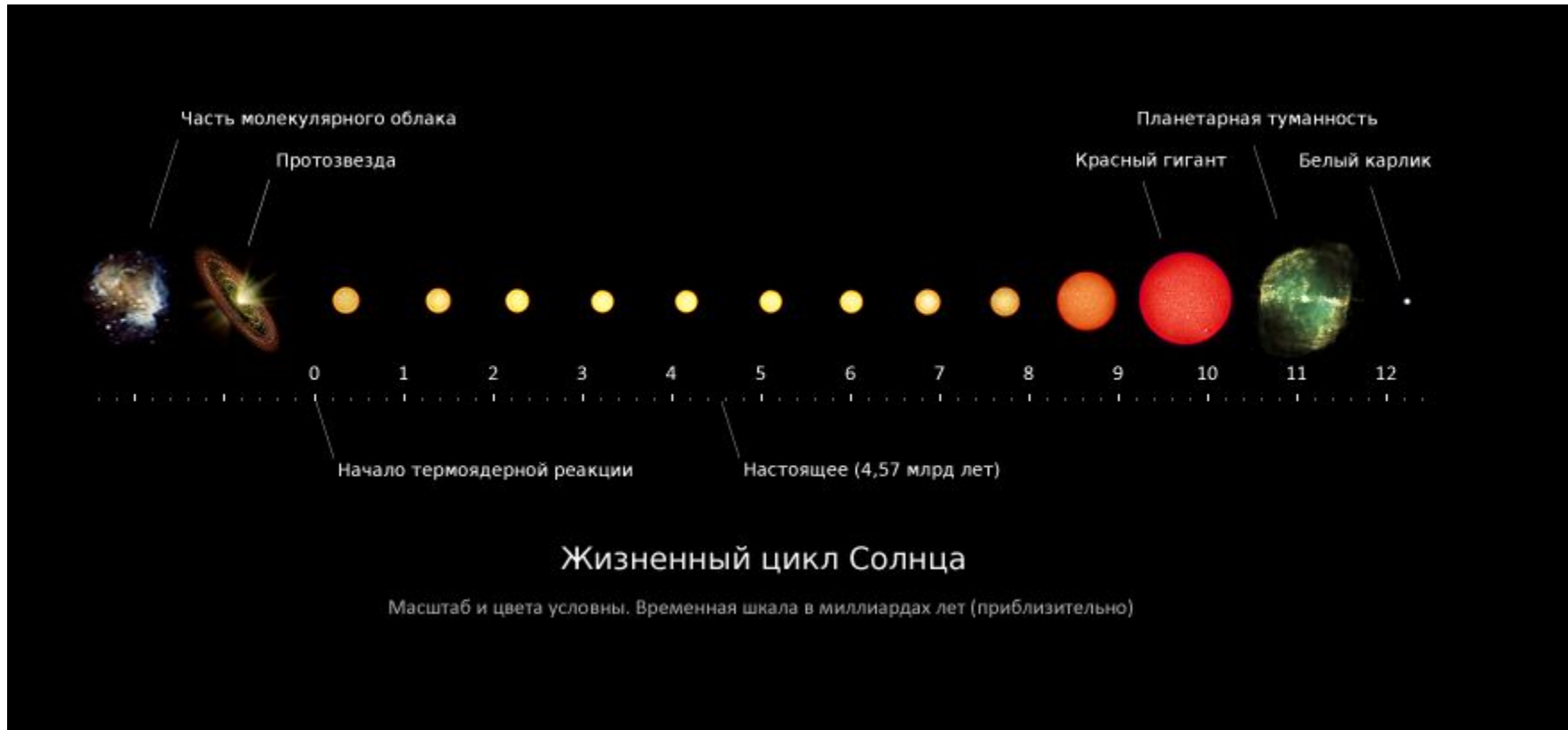
*Звёзды с массой выше определённого предела неустойчивы и должны под действием гравитационных сил коллапсировать.*

*Результат:*

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

## Типы звезд

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



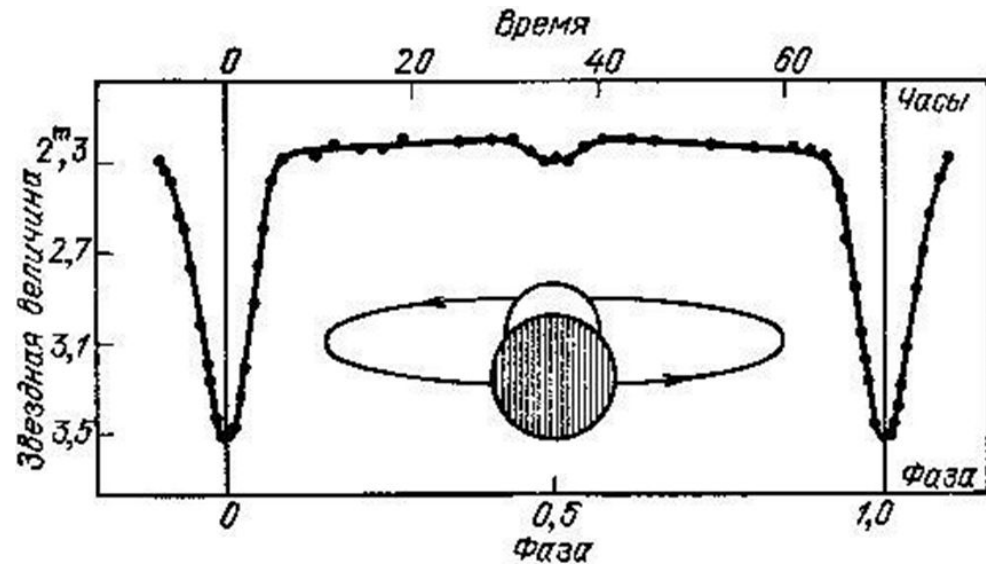
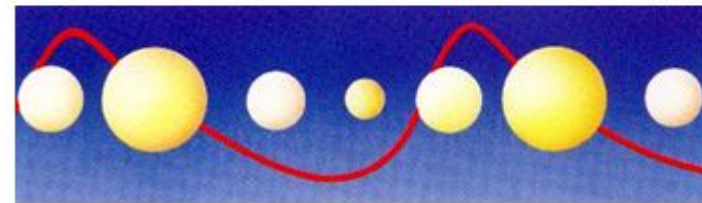
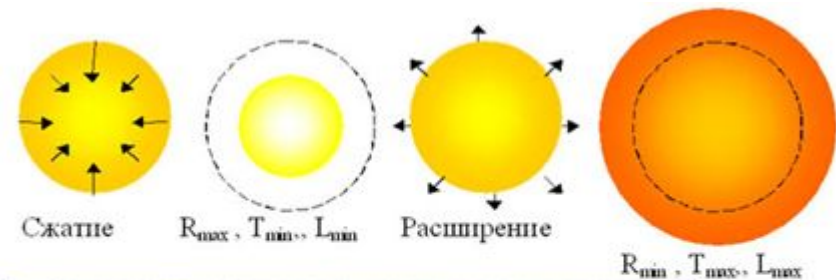
**Размеры Солнца через 5 млрд. лет вырастут как минимум в 200 раз, то есть почти до современной земной орбиты**



# Типы звезд

## Переменные звёзды, в том числе:

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

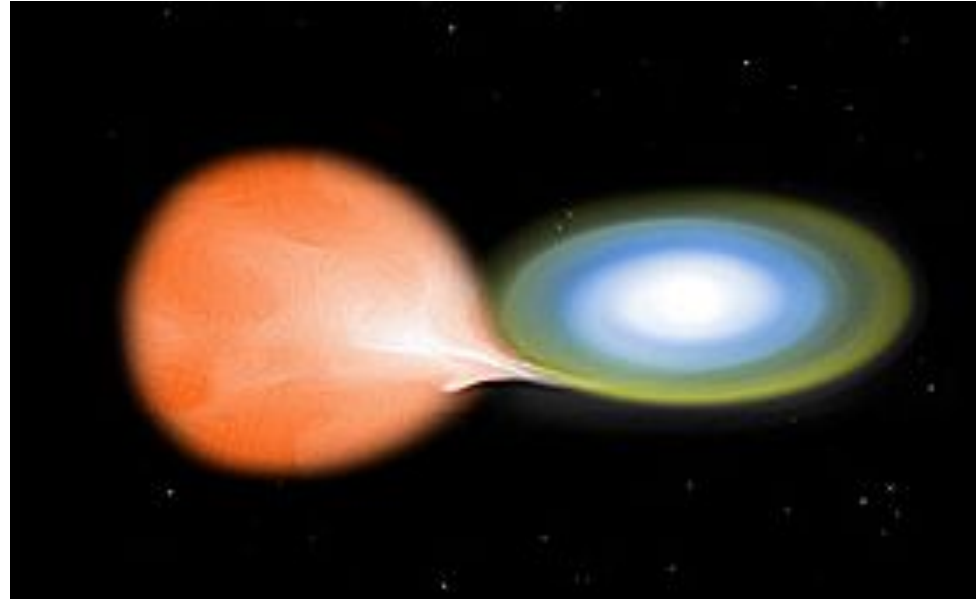


Изменение блеска Алголя и схема затмений

## Типы звезд

### Новые –

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



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

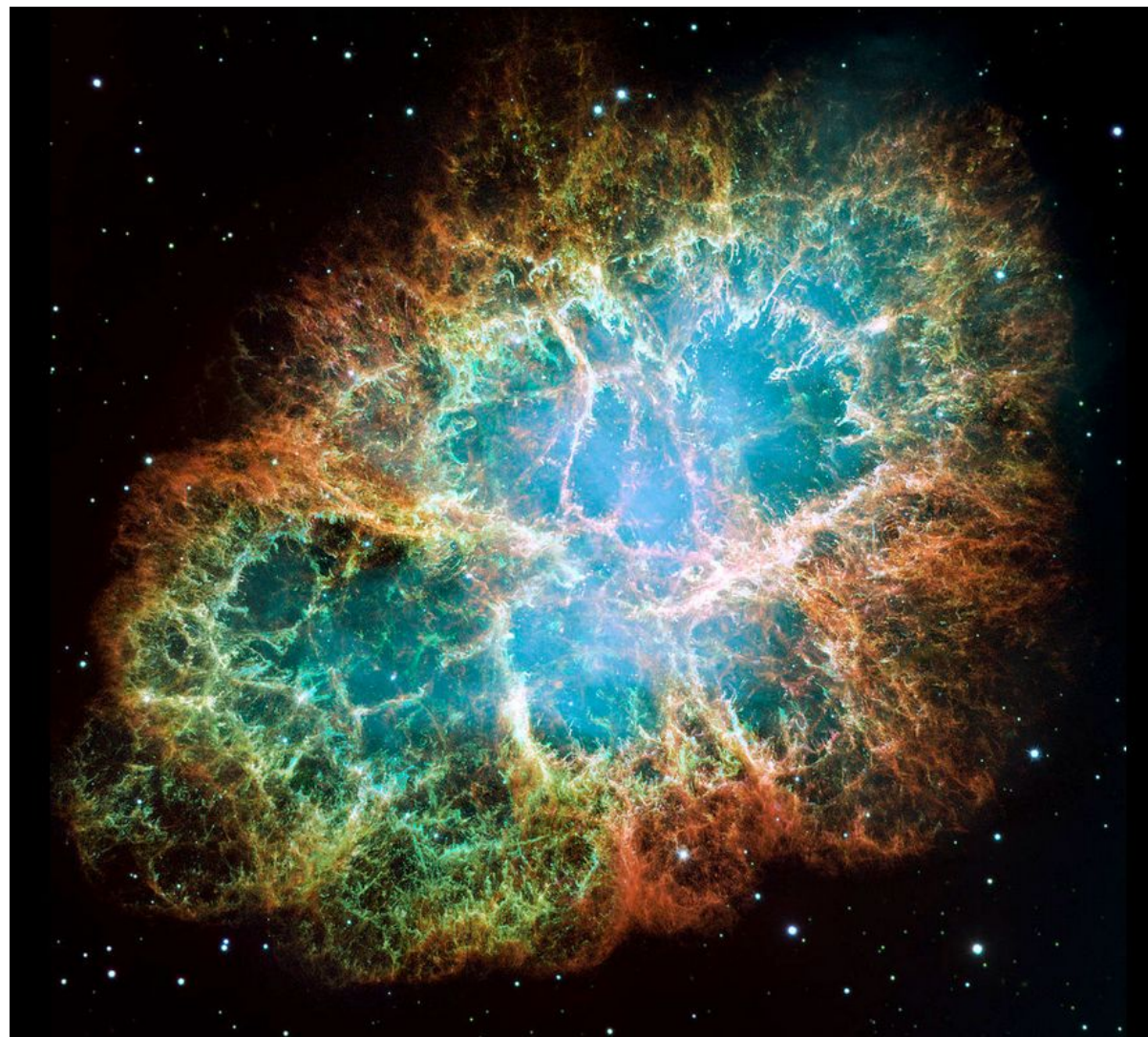
*Взрывоподобное ускорение реакций термоядерного синтеза в богатой водородом оболочке, температура резко возрастает до снятия вырождения при данной плотности, и формируется ударная волна, сбрасывающая верхний слой водородной оболочки белого карлика в окружающее пространство.*

**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

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

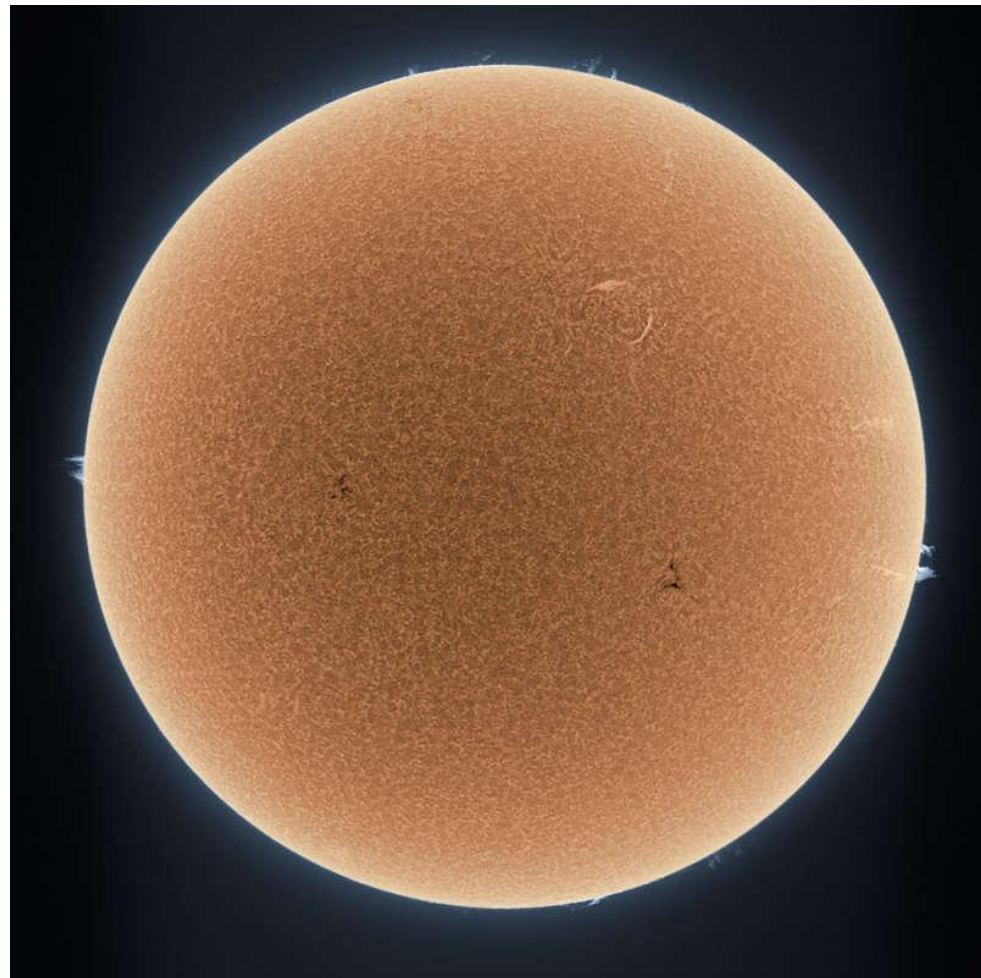


# Звездная эволюция

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				
<b>гелиевые белые карлики</b>	вырожденное He ядро	невырожденное He ядро		
	гелиевая вспышка			
спокойное горение гелия в ядре				
	<b>C, O белый карлик</b>		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...	
			<b>O, Ne, Mg...</b> белый карлик или нейтронная звезда	<b>чёрная дыра</b>

## 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

