

# ЗВЁЗДЫ



Артём Олегович Новичонок  
Руководитель Лаборатории астрономии ПетрГУ

# ЗВЕЗДА – ЭТО...

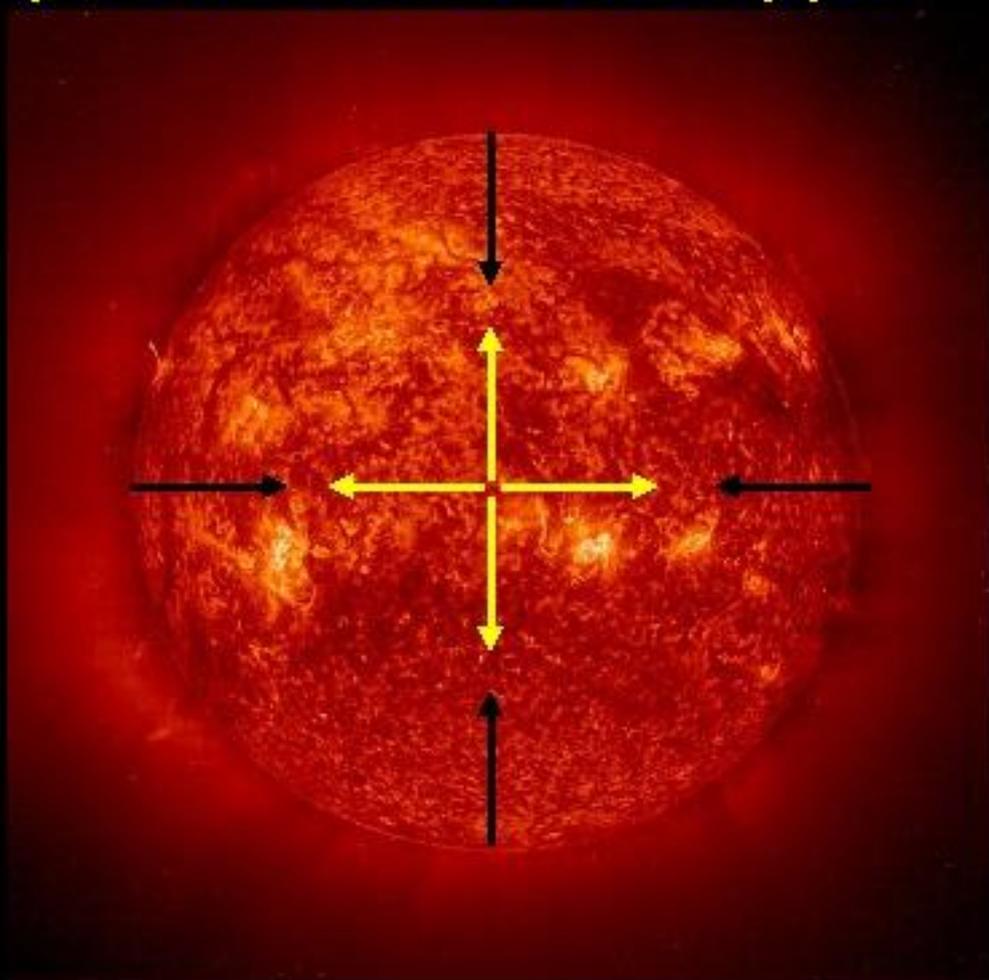
Массивный плотный газовый шар, излучающее за счёт собственных запасов энергии

- Равновесие в звезде поддерживается за счёт разнонаправленных сил гравитации и газового давления
- В недрах – реакции термоядерного синтеза

# Динамическое равновесие звезды

Гравитация

Газовое давление



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

# АБСОЛЮТНО ЧЁРНОЕ ТЕЛО

Это физическое тело, которое при любой температуре поглощает всё падающее на него излучение во всех электромагнитных диапазонах

- При этом за счёт нагрева способно светиться и иметь цвет
  - *Т.е., это объект, находящийся в состоянии термодинамического равновесия*
  - *На атомарном уровне излучение является следствием испускания фотонов возбуждёнными атомами*
- Ближайший астрономический пример – звёзды

# ЗАКОН СТЕФАНА-БОЛЬЦМАНА

Определяет зависимость мощности излучения абсолютно чёрного тела от его температуры

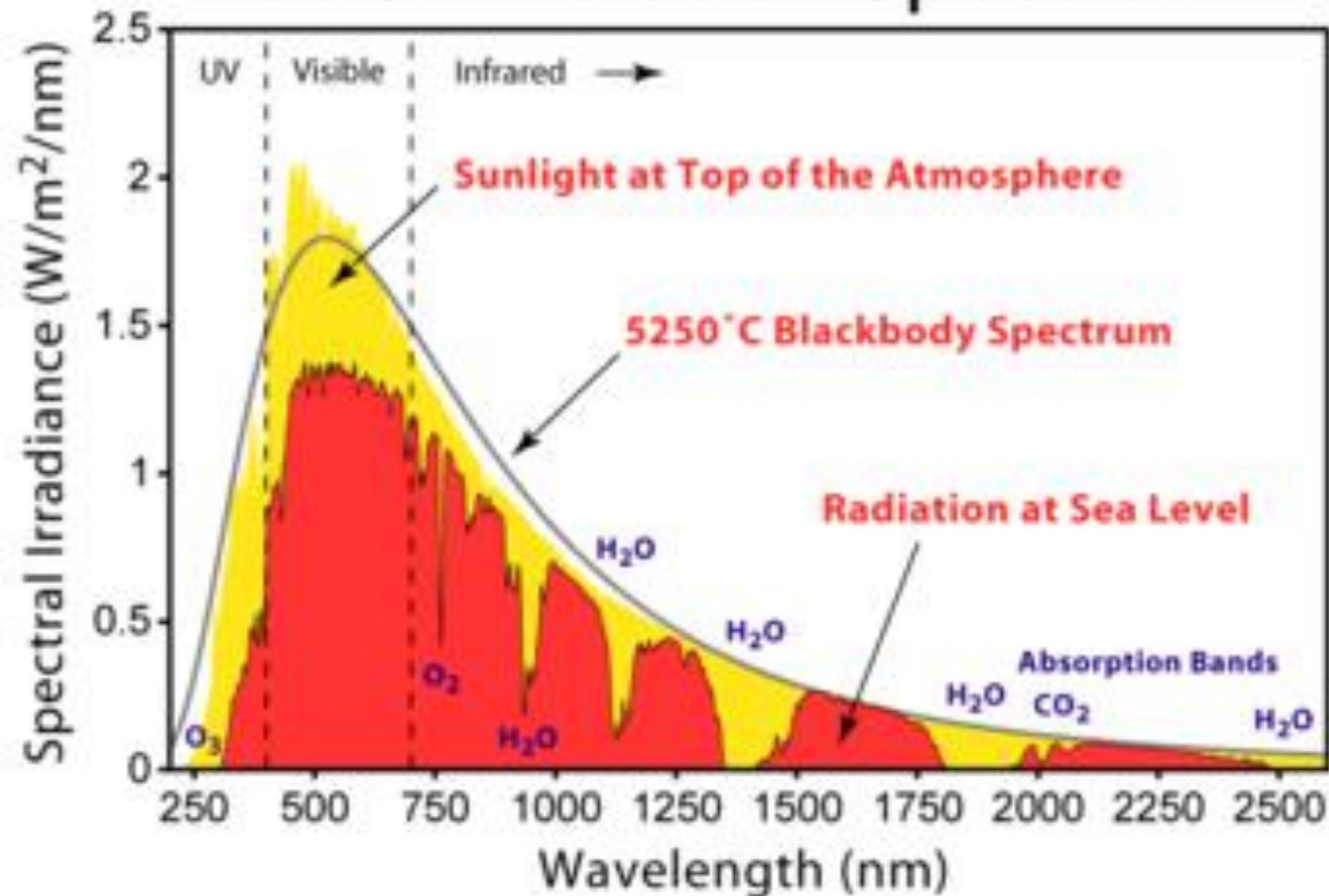
- $E = \sigma T^4$ 
  - $T$  – температура тела в Кельвинах
  - $\sigma$  – **постоянная Больцмана** ( $5.67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ )
- Закон распространяется на все без исключения нагретые тела
- Дополнительно читать:  
[http://elementy.ru/trefil/21209/Zakon\\_StefanaBoltsmana](http://elementy.ru/trefil/21209/Zakon_StefanaBoltsmana)

# ЭФФЕКТИВНАЯ ТЕМПЕРАТУРА

Это температура абсолютно чёрного тела с размерами, равными размерам небесного тела и излучающего такое же количество энергии за единицу времени

- Именно она подразумевается как температура «поверхности» (фотосферы) звезды

# Solar Radiation Spectrum



# ЗАКОН СМЕЩЕНИЯ ВИНА

Длина волны  $\lambda_{\max}$  а которую приходится максимум энергии излучения абсолютно черного тела, обратно пропорциональна абсолютной температуре  $T$ :

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T}, \quad \text{где } b = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ м}\cdot\text{К}.$$

# Закон смещения Вина

Spectral energy density /  $\text{kJ/m}^3 \text{ nm}$

$8\text{E}+11$

$6\text{E}+11$

$4\text{E}+11$

$2\text{E}+11$

0

5500K

5000K

4500K

4000K

3500K

0

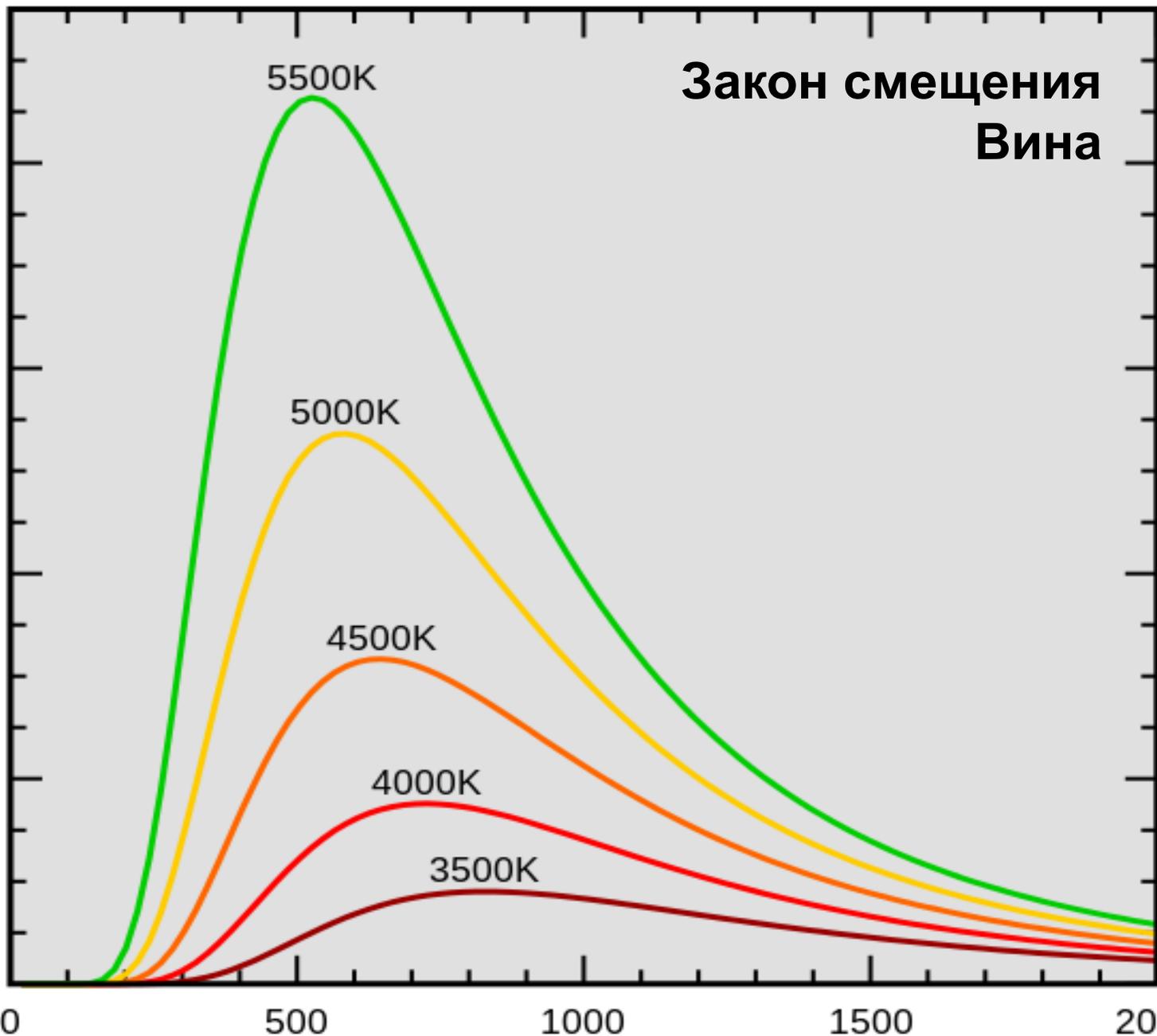
500

1000

1500

2000

Wavelength / nm



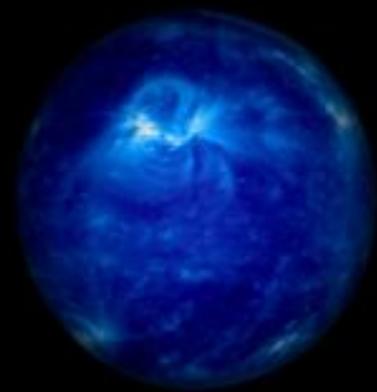
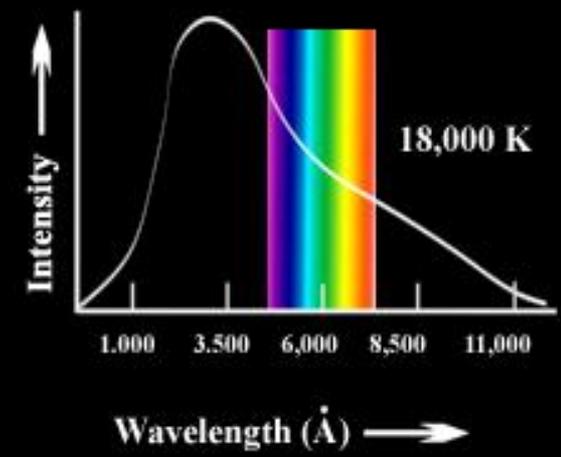
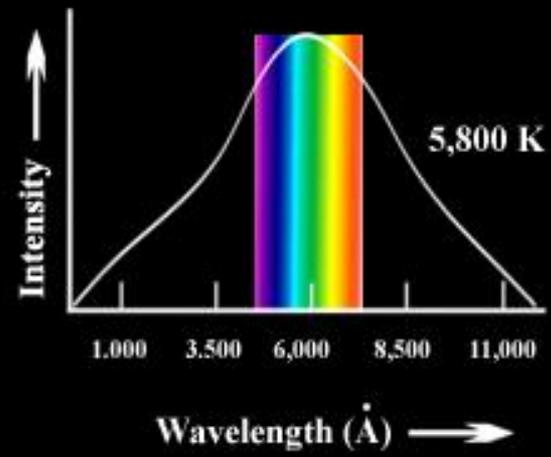
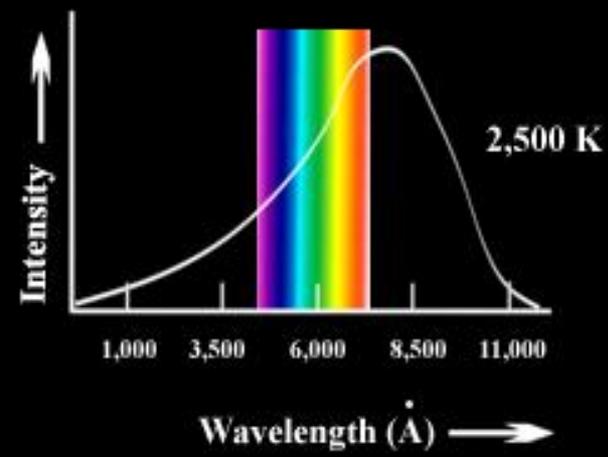
# A Colorful Universe

## Star Color and Temperature

*Spring and Summer*

Color	Example	Surface Temp Celsius
	Spica (Virgo)	28,000-11,000
	Vega (Lyra)	11,000 - 7,500
	Sun	6,000 - 5,000
	Arcturus (Bootes)	5,000 - 3,600
	Antares (Scorpius)	3,600 - 2,000

# ЦВЕТА И ТЕМПЕРАТУРЫ ЗВЁЗД

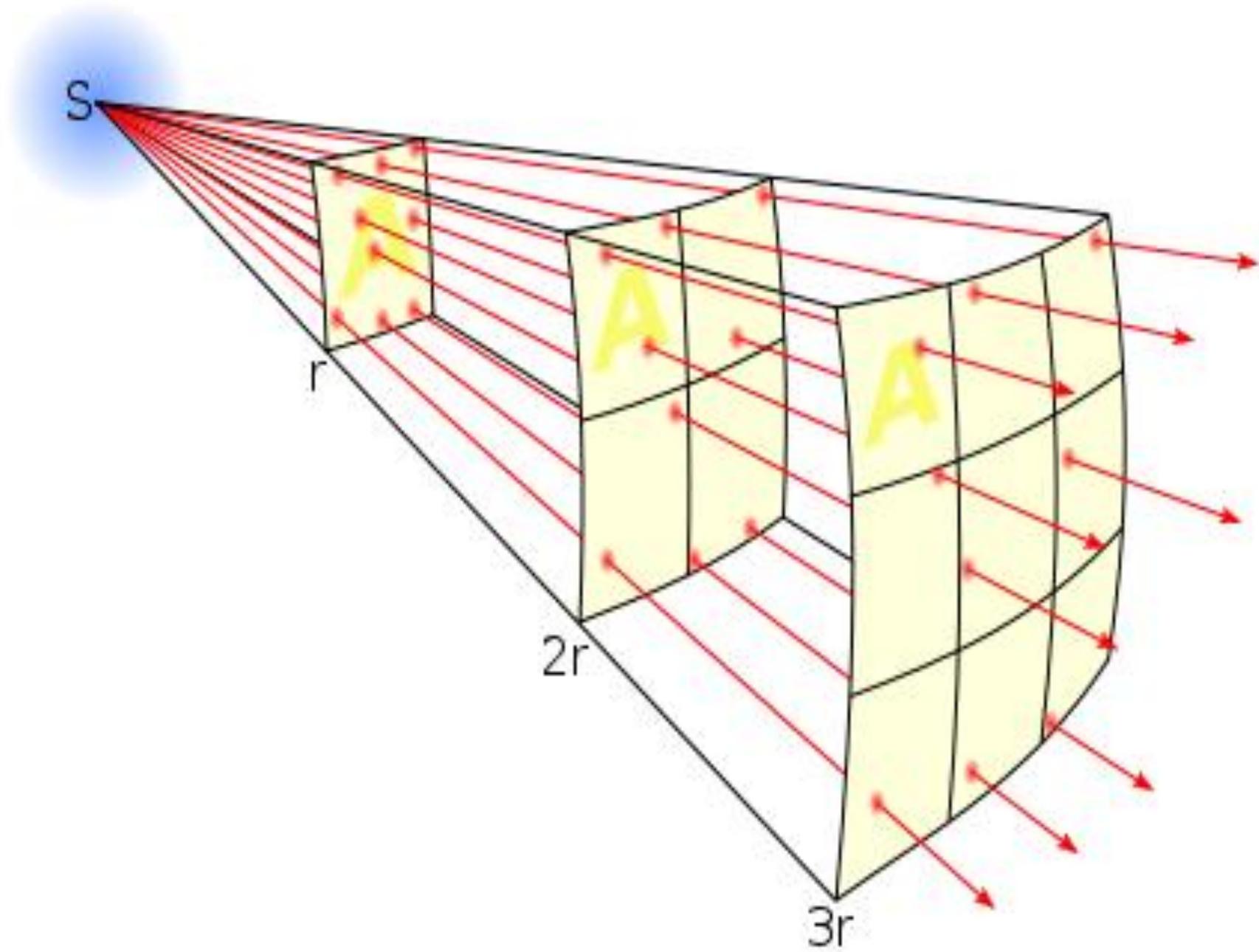


Colors are exaggerated

# СВЕТИМОСТЬ ЗВЕЗДЫ

Это полная энергия, излучаемая звездой за единицу времени

- Для звёзд удобно измерять в светимостях Солнца
  - $L_{\odot} = 3.827 \cdot 10^{33} \text{ эрг/с } (= 3.827 \cdot 10^{26} \text{ Вт})$
- Светимости звёзд могут превышать солнечную в десятки и сотни тысяч раз
- \*При этом самые массивные звёзды лишь в 150 раз массивнее Солнца



**ДА / НЕТ**

**Красные звёзды –  
самые горячие**

- **Источник: ПАО (2006, с. 115)**

# ДА / НЕТ

Если температуру звезды увеличить вдвое, не меняя её размеров, то светимость звезды возрастет в 16 раз

- Источник: ПАО (2006, с. 116)

**ДА / НЕТ**

**Поверхностная  
яркость Солнца не  
зависит от  
расстояния до него**

- **Источник: ПАО (2006, с. 116)**

**ДА / НЕТ**

**При одинаковой  
светимости горячая  
звезда имеет меньший  
размер, чем холодная**

- **Источник: ПАО (2006, с. 116)**

**ДА / НЕТ**

**При одинаковой  
светимости горячая  
звезда имеет меньший  
размер, чем холодная**

- **Источник: ПАО (2006, с. 116)**

# ЗАДАЧА

Звезда Вольфа-Райе R136A1 в Большом Магеллановом облаке имеет радиус  $30 R_{\odot}$  и эффективную температуру  $53\,000\text{ K}$ . Определите, во сколько раз светимость этой звезды больше Солнечной?

# ЗАДАЧА

Светимость звезды в 6 раз больше, чем у Солнца, а освещённость от неё при наблюдении с Земли составляет  $6 \cdot 10^{-14}$  Вт/м<sup>2</sup>. Чему равно расстояние до этой звезды?

- Светимость Солнца:  $3.83 \cdot 10^{26}$  Вт
- Источник: СПб (2014-2015, 3 10-5)
- Ответ: 2 кпк

# АБСОЛЮТНАЯ ЯРКОСТЬ

Это видимая яркость звезды, которую она бы имела, если бы была удалена от нас на расстояние 10 пк

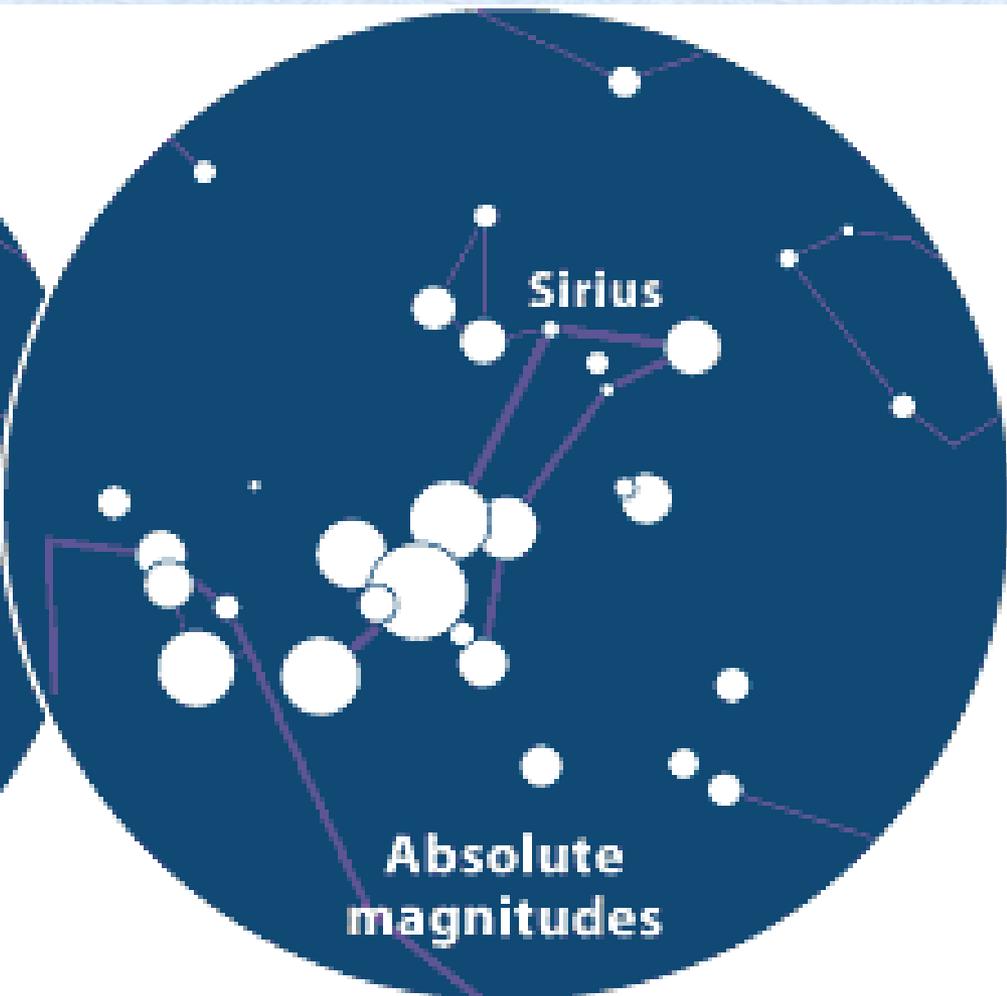
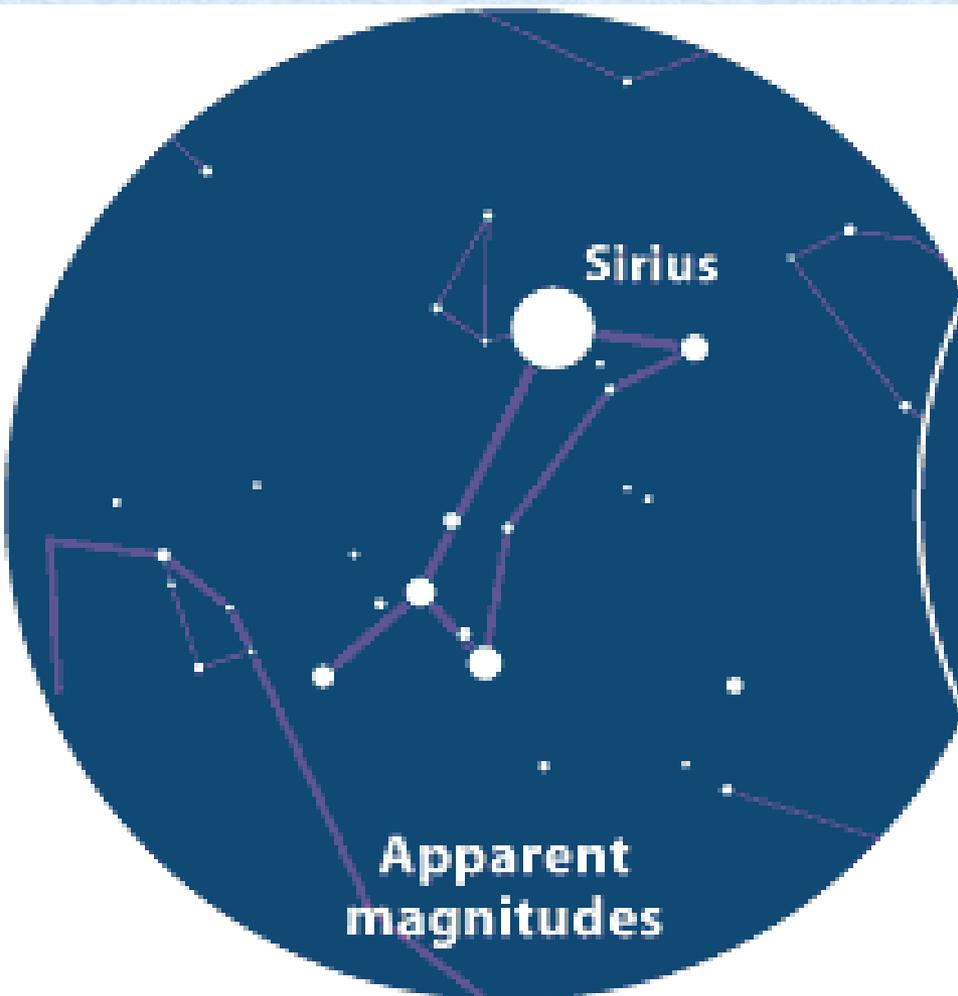
- Абсолютная яркость Солнца  $4.8^m$
- У гигантских звёзд может быть около  $-10^m$

# ЗАДАЧА

Двойная звезда состоит из голубой звезды с блеском  $0m$  и температурой  $30\,000\text{ K}$  и красной звезды с блеском  $5m$  и температурой  $3\,000\text{ K}$ . Как соотносятся радиусы этих звёзд?

- Источник: ПАО (2006, с. 60)

# ВОКРУГ СИРИУСА..



# ЗАДАЧА

Температура «поверхности» звезды Барнарда равна 3100 К, радиус  $0.2 R_{\odot}$ , параллакс –  $0.55''$ . Определите видимую и абсолютную звёздные величины этой звезды.

# ЗАДАЧА

Во сколько раз светимость Ригеля больше светимости Солнца, если его параллакс равен  $0.0038''$ , а видимая звёздная величина –  $0.34^m$ .

- Источник: ВВ (2000, с. 154)

# ЗАДАЧА

Какова средняя плотность красного сверхгиганта, если его диаметр в 300 раз больше солнечного, а масса в 30 раз больше, чем масса Солнца?

- Источник: ВВ (2000, с. 154)

# ЗАДАЧА\*

Белый карлик, имеющий радиус 6 000 км, температуру поверхности 10 000 К и массу, равную массе Солнца, пролетает через межзвёздное скопление кометных ядер, каждое из которых имеет радиус 1 км и плотность  $1 \text{ г/см}^3$ . Сколько комет должно ежедневно падать на белый карлик, чтобы его средняя светимость удвоилась?

- Масса Солнца:  $1.989 \cdot 10^{30}$  кг
- Источник: ПАО (2006, с. 60)

# ЗАДАЧА\*

## Подсказки:

- Вторая космическая скорость – это такая скорость, при которой тело имеет кинетическую энергию, которая равна потенциальной на бесконечном расстоянии от заданного тела

# ЗАДАЧА\*

Звезды А и В светят одинаково через красный светофильтр, звезды В и С – одинаково через зеленый, а А и С – одинаково через синий. При этом в зеленых лучах звезда А ярче звезды В. Расположите эти три звезды в порядке возрастания их температуры.

- Источник: ПАО (2006, с. 61)

# ЗАДАЧА\*

При исследовании звезды, похожей на Солнце, оказалось, что она является переменной. Для объяснения этого были выдвинуты две гипотезы.

- **А.** Переменность связана с пятном на поверхности вращающейся звезды (температура пятна равна температуре обычных солнечных пятен)
- **Б.** Переменность вызвана изотермическим расширением и сжатием звезды

Оцените, на сколько процентов могут отличаться максимально и минимально возможные радиусы звезды в рамках второй гипотезы, если известно, что первая гипотеза также количественно согласуется с данными наблюдений.

- Источник: СПб (2014/15, заключительный этап, 10 класс)

# РАЗМЕРЫ ЗВЁЗД

Радиус звёзд может  
меняться в широких  
пределах

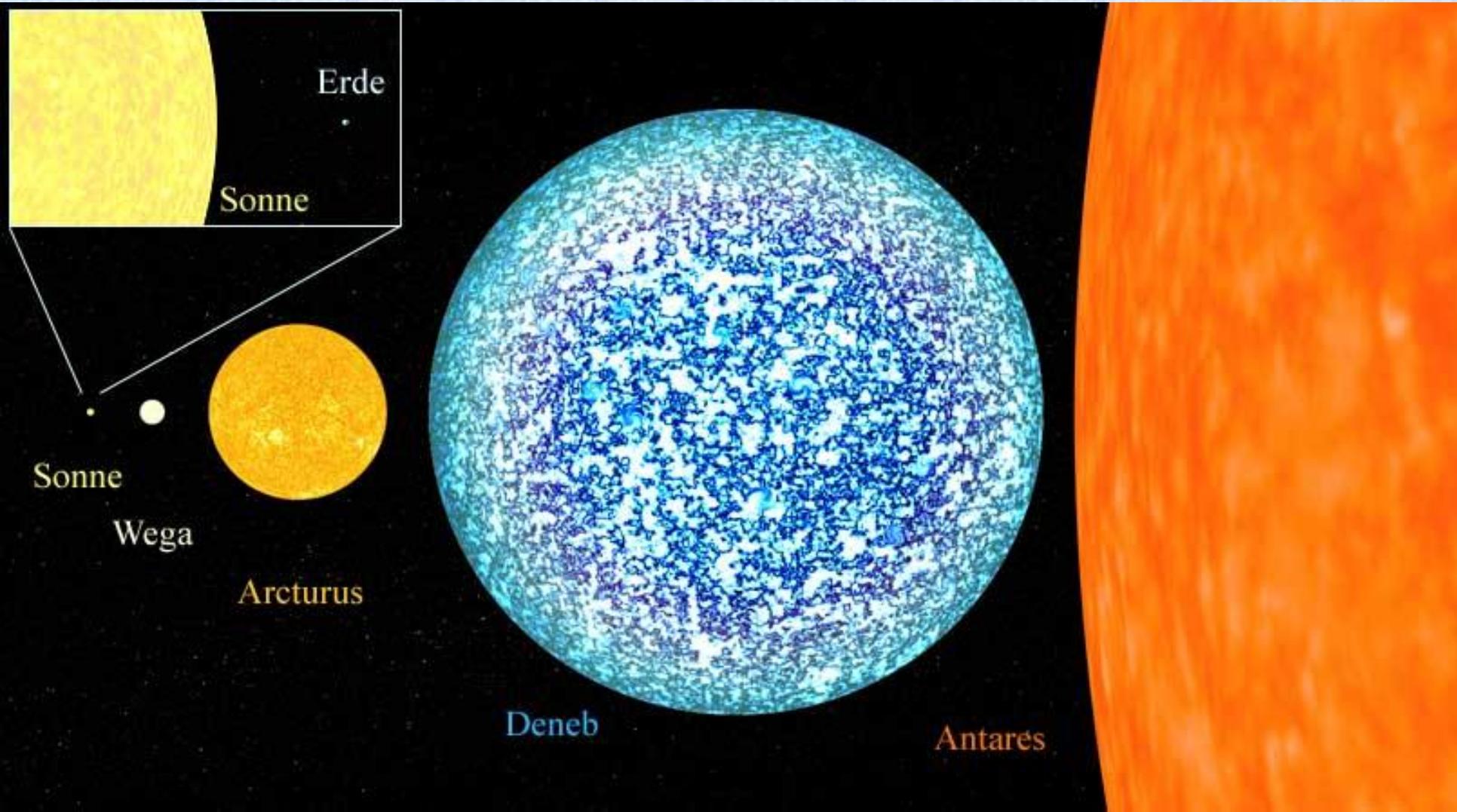
- Красный сверхгигант Бетельгейзе в  $\sim 1000$  раз больше Солнца
- Радиусы красных карликов на порядок меньше радиуса Солнца

# РАЗМЕРЫ ЗВЁЗД

## Радиусы компактных объектов

- **Белый карлик:** размер Земли
- **Нейтронная звезда:** ~10 км

# РАЗМЕРЫ ЗВЁЗД

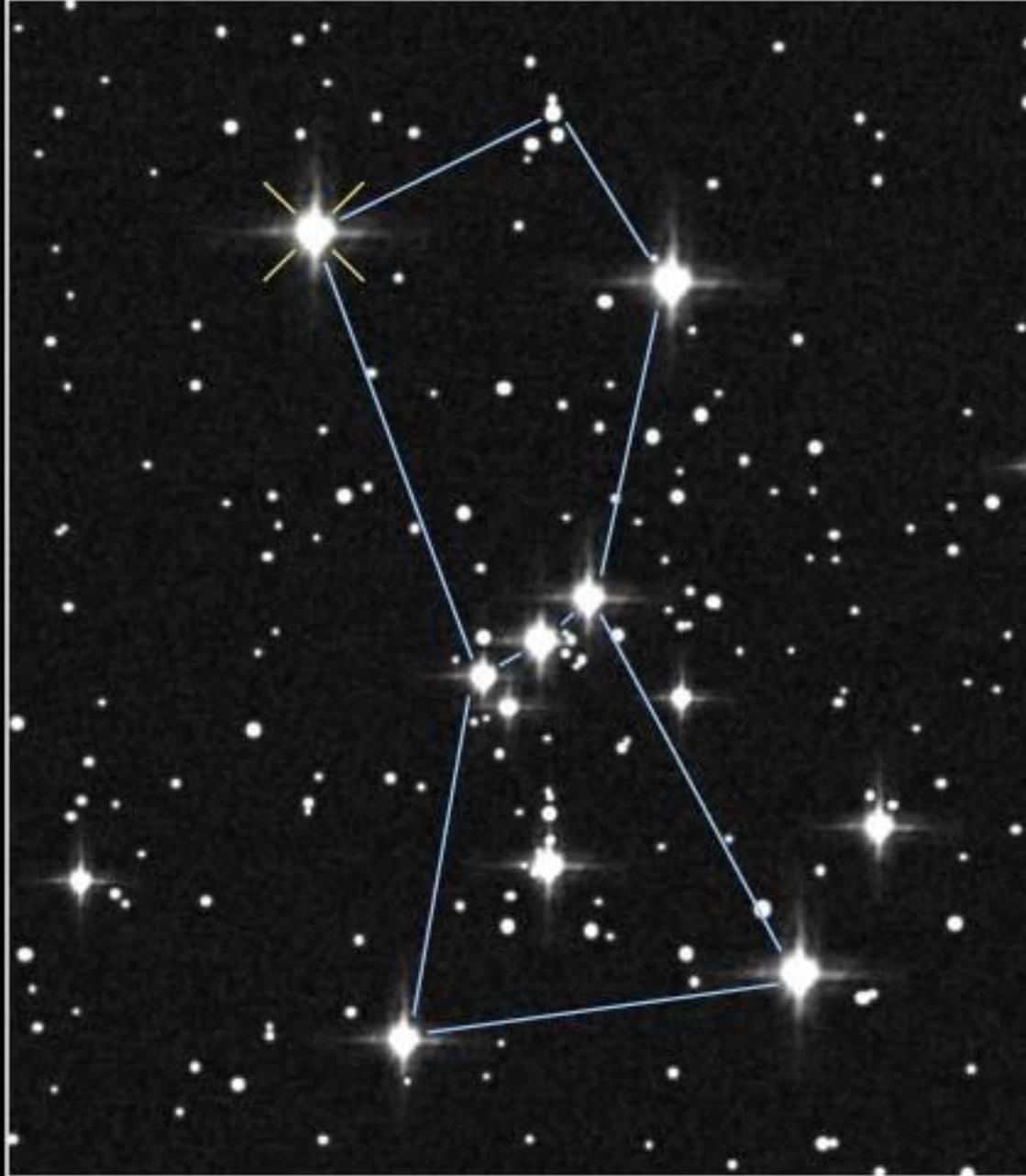




Size of Star

Size of Earth's Orbit

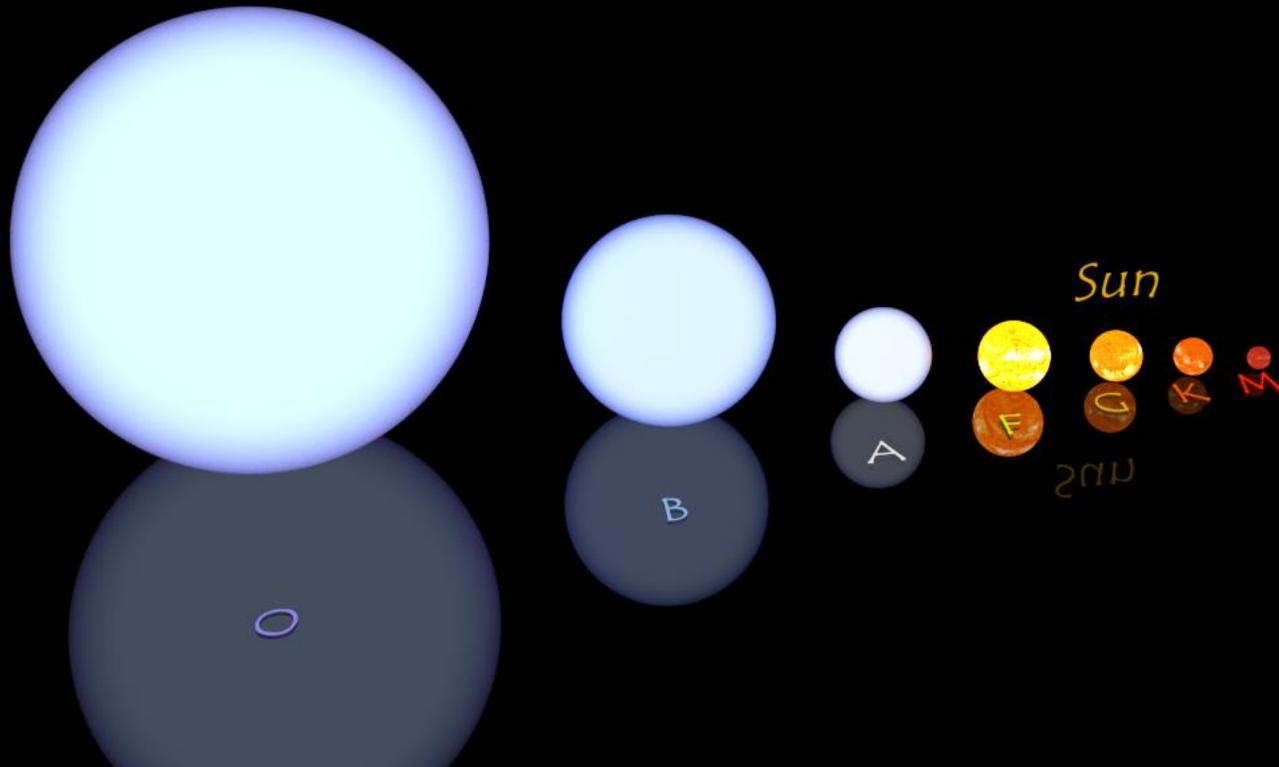
Size of Jupiter's Orbit



# Atmosphere of Betelgeuse

HST .

# РАЗМЕРЫ ЗВЁЗД



# ЗАДАЧА

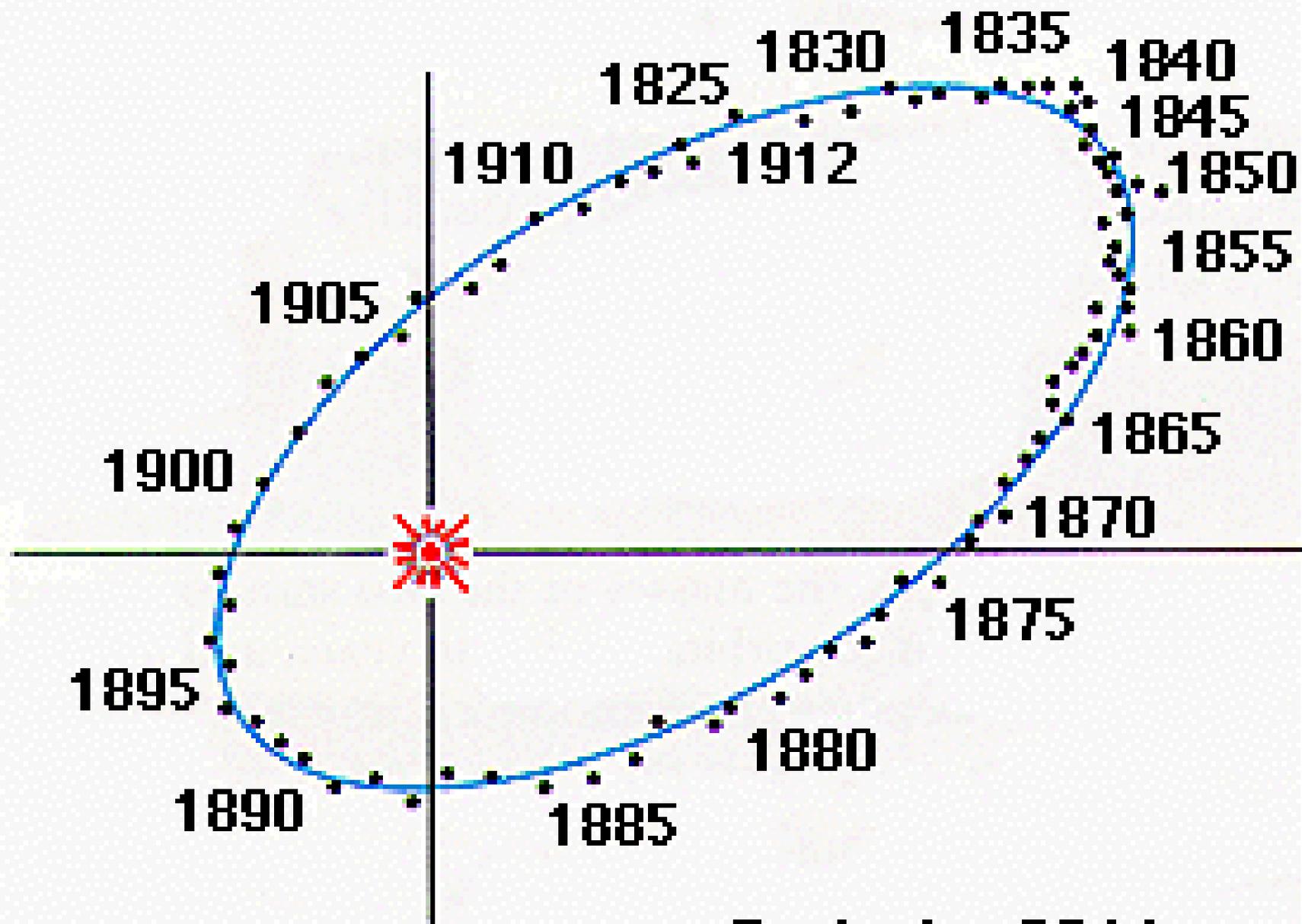
Рассчитайте плотность красного сверхгиганта Бетельгейзе, если его радиус превышает Солнечный в 1000 раз, а масса равна  $15M_{\odot}$ .

# МАССЫ ЗВЁЗД

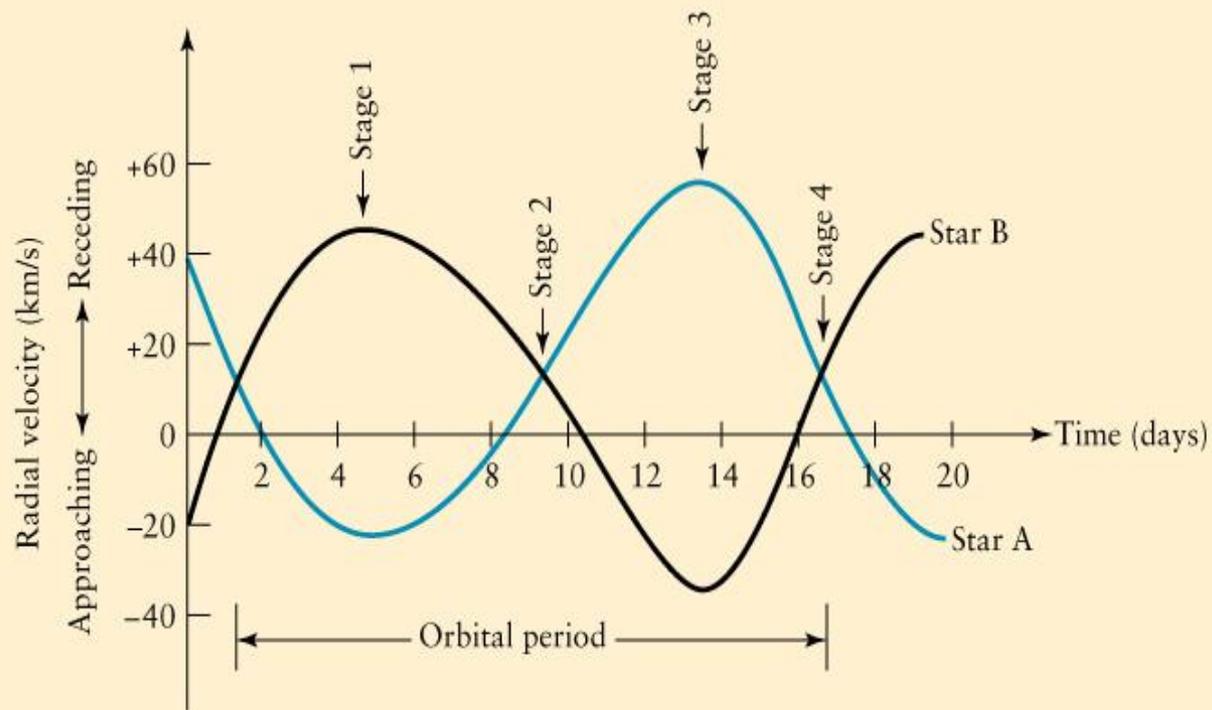
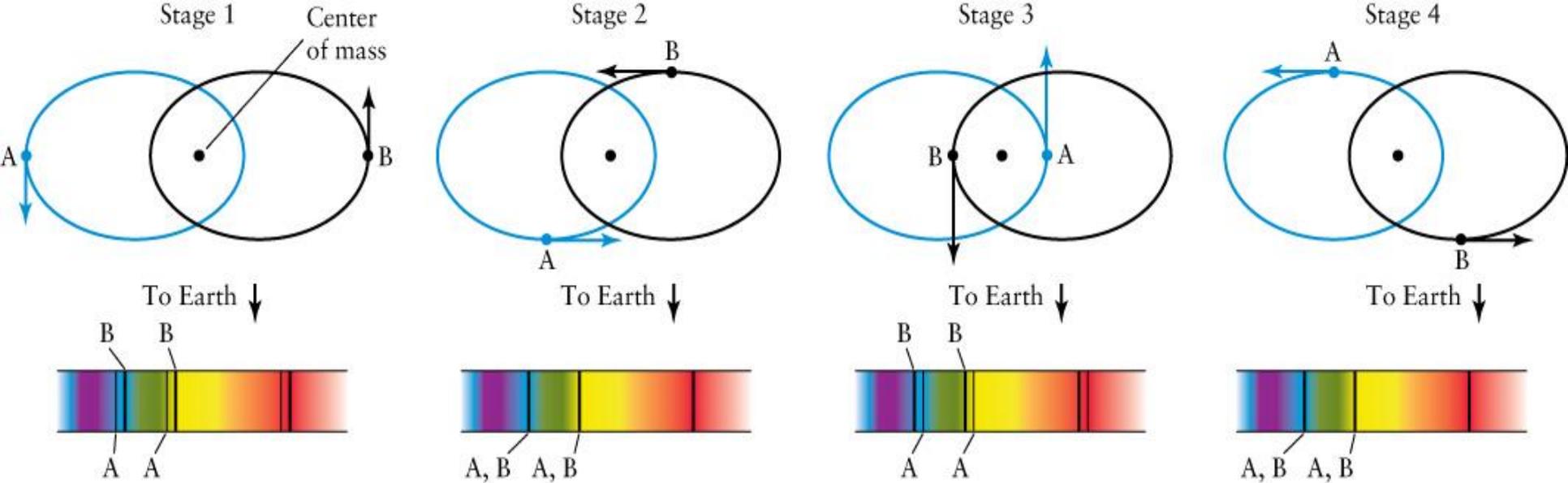
Надёжно определяются  
для звёзд в двойных  
системах по третьему  
закону Кеплера

$$\frac{T_1^2 (M + m_1)}{T_2^2 (M + m_2)} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$$





Period = 88 Years



# МАССЫ ЗВЁЗД

Самые маломассивные  
звёзды  $\sim 0.08$  масс Солнца

Самые массивные  $\sim 150$   
масс Солнца

**ДА / НЕТ**

**Диапазон значений  
масс существующих  
звёзд много шире, чем  
диапазон светимостей**

- **Источник: ПАО (2006, с. 116)**