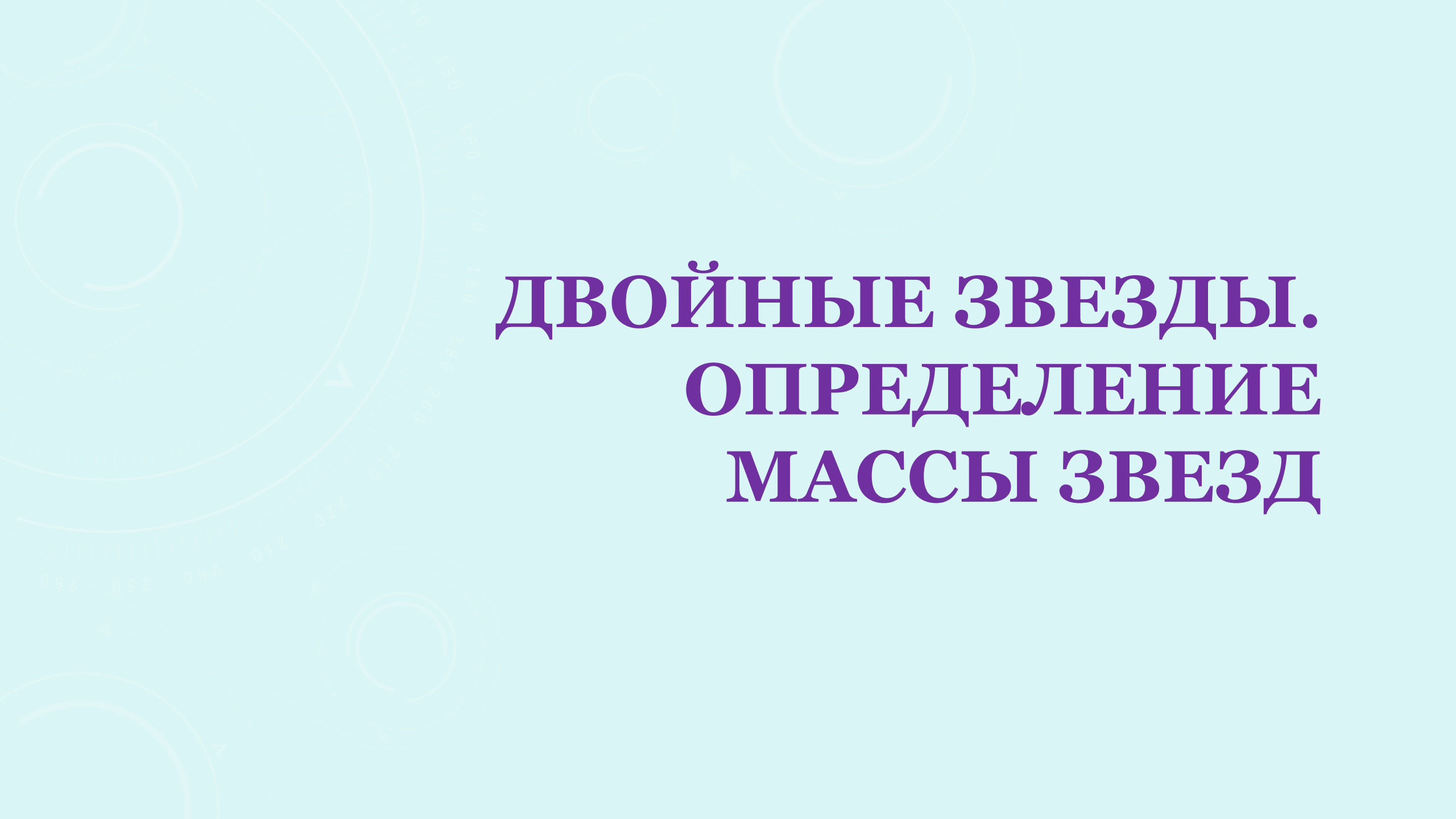




11 КЛАСС  
БАЗОВЫЙ КУРС

# МАССА И РАЗМЕРЫ ЗВЕЗД



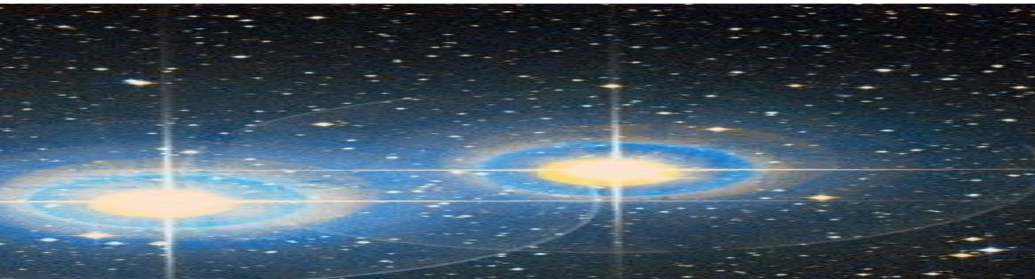
**ДВОЙНЫЕ ЗВЕЗДЫ.  
ОПРЕДЕЛЕНИЕ  
МАССЫ ЗВЕЗД**

# Двойные звезды



**Среди звезд, которые видны на небе рядом, различают оптические двойные и физические двойные звезды**

## Оптически двойные



две звезды видны вблизи, но находятся в пространстве далеко друг от друга.

## Физически двойные



в результате наблюдений выясняется, что они образуют единую систему и обращаются вокруг общего центра масс под действием взаимного тяготения



Национальная библиотека  
Республики Беларусь



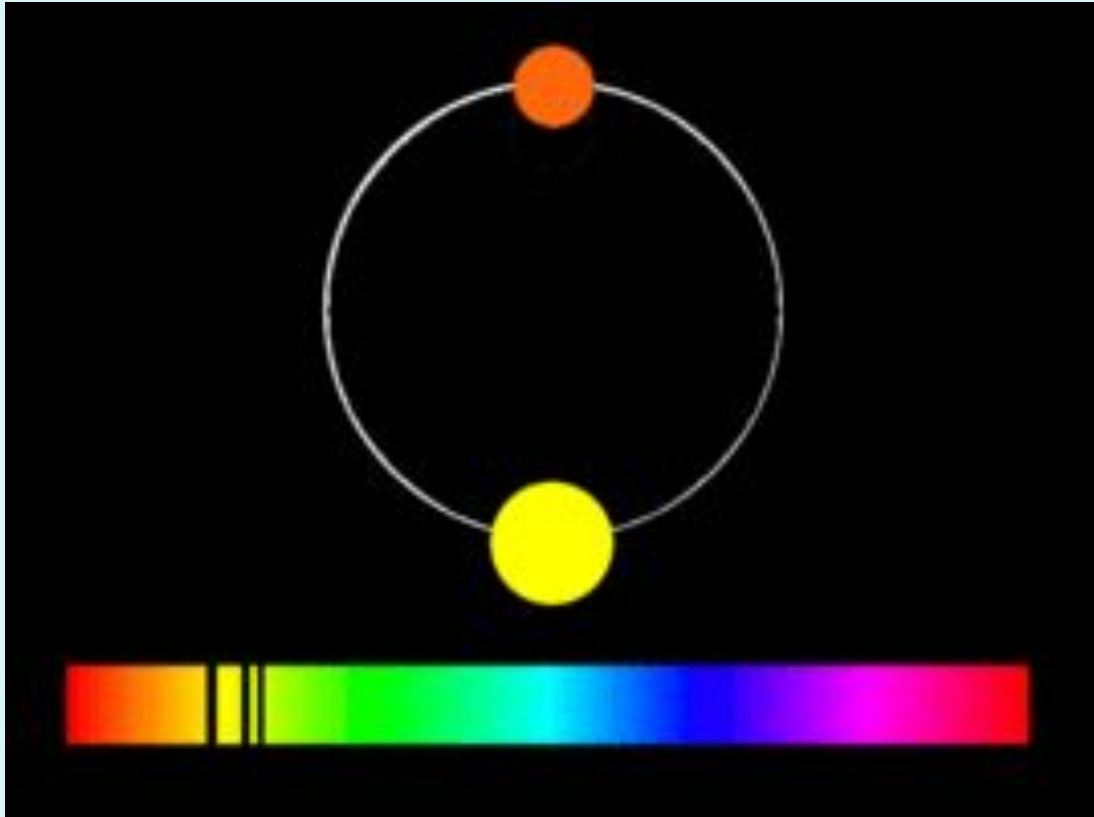
**Первым, кто доказал, что такие звезды действительно существуют, был известный английский астроном *Вильям Гершель* (1738—1822). Множество двойных звезд открыл и исследовал **В. Я. Струве**.**



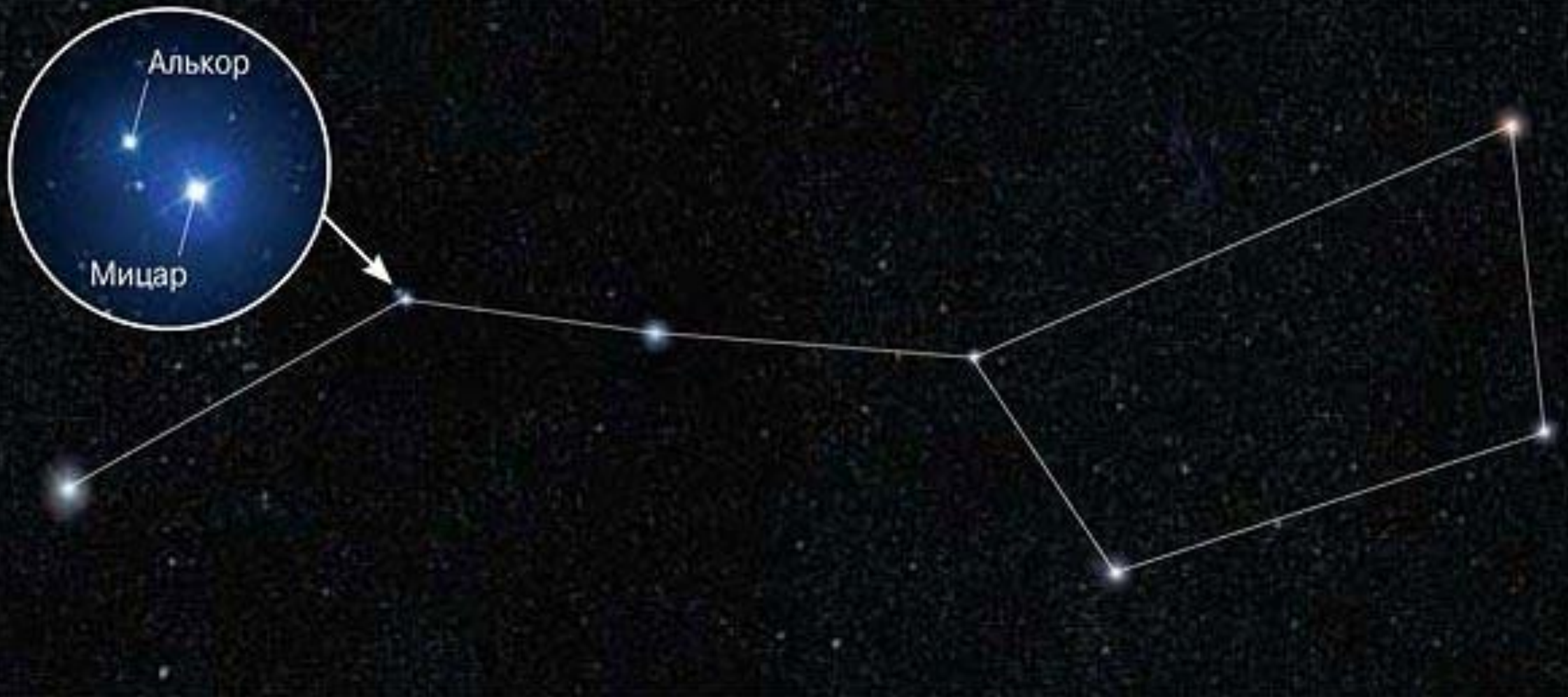


**В настоящее время известно уже более 70 тыс. этих объектов. Когда число звезд в системе, связанной взаимным тяготением, оказывается более двух, то их называют *кратными*.**

**В настоящее время считается, что большинство звезд (более 70%) образуют системы большей или меньшей кратности.**

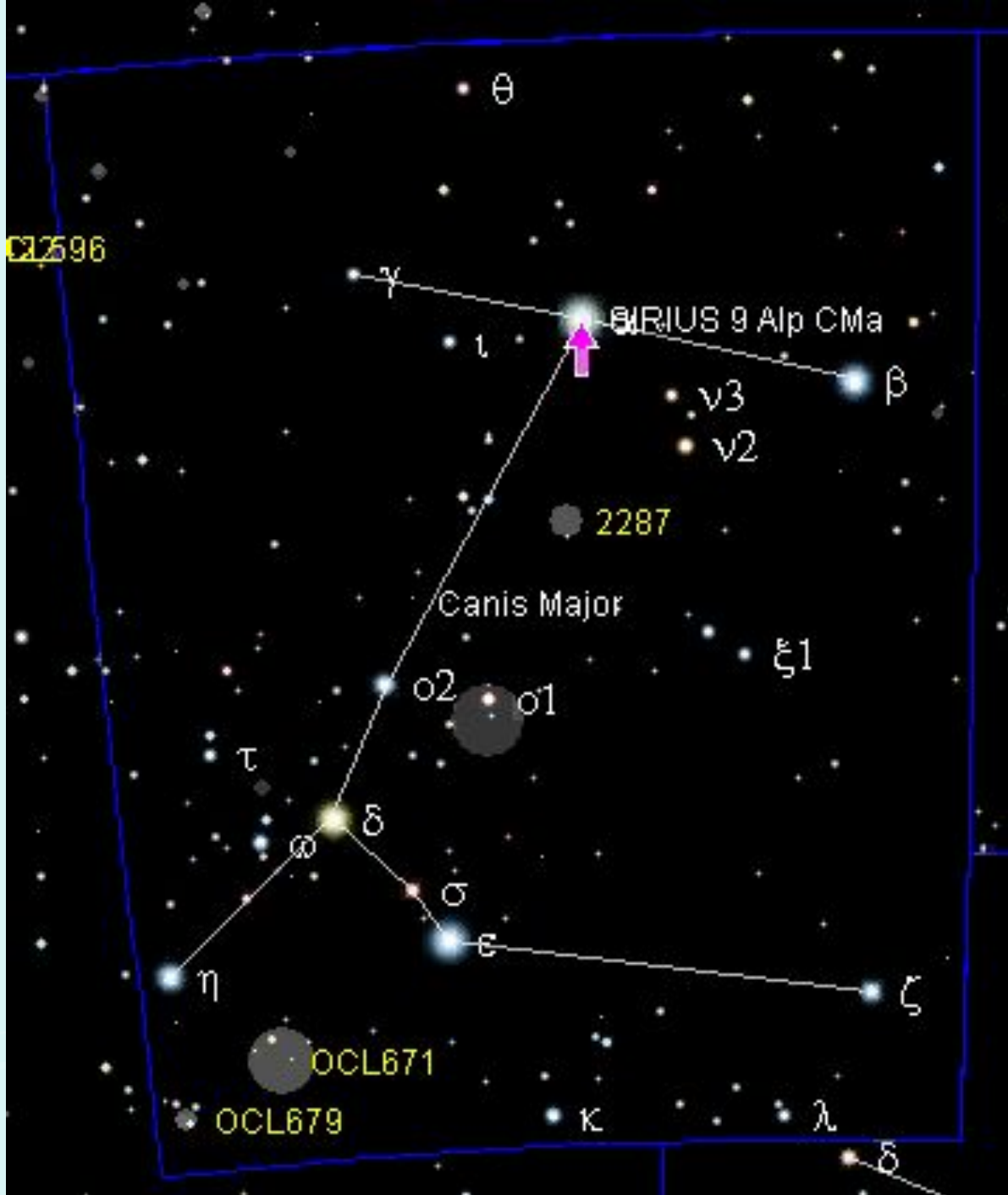


- В зависимости от того, каким способом можно обнаружить двойственность звезды, их называют по-разному. Если она заметна при непосредственных наблюдениях в телескоп, то *визуально-двойной*. Если же об этом можно судить только по спектру, то *спектрально-двойной*.



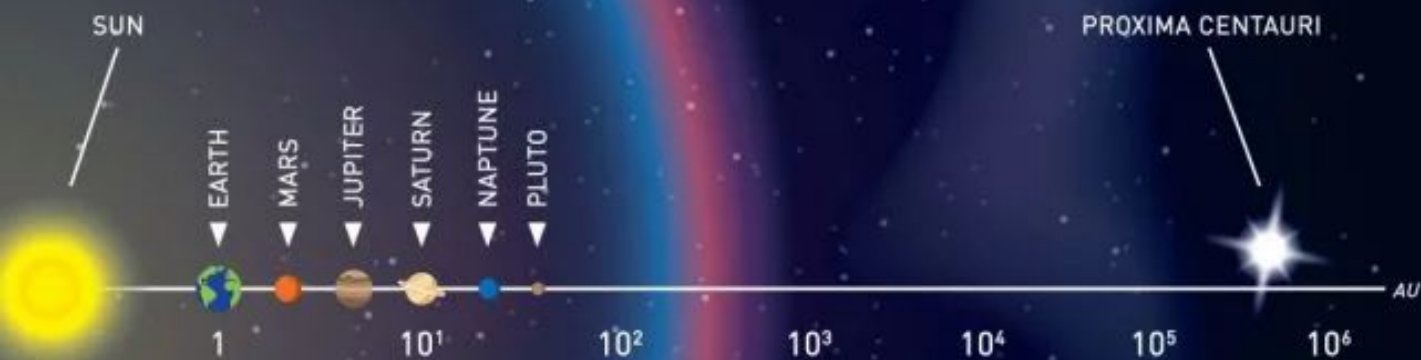
- Редким примером двойной звезды, оба компонента которой различимы даже невооруженным глазом, являются Мицар и Алькор в созвездии Большой Медведицы.



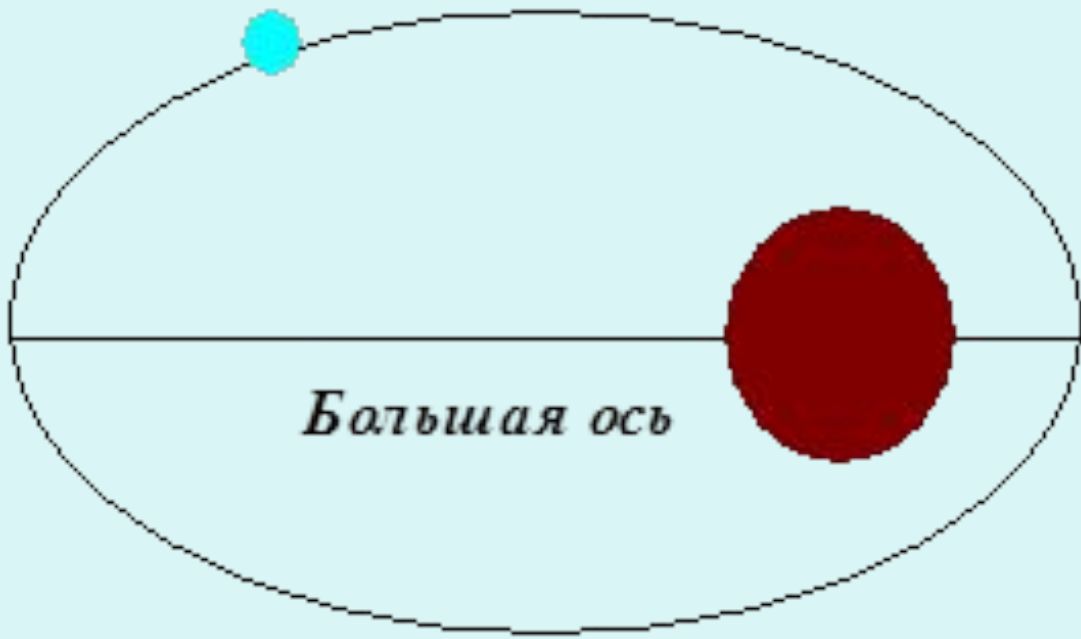


- Среди ярчайших звезд также были обнаружены двойные: Сириус, Капелла, Кастор и др. Более того, оказалось, что во многих случаях каждая из звезд такой пары сама состоит из нескольких звезд. Так, Мицар и Капелла имеют в своем составе четыре компонента, а Кастор — шесть.

# PROXIMA CENTAURI DISTANCE



- **$\alpha$  Центавра является тройной звездой, одна из которых расположена ближе всего к нам и получила название Проксима (в переводе с греческого — «ближайшая»).**



- У двойных звезд, каждый компонент которых можно наблюдать в отдельности, периоды обращения вокруг общего центра масс обычно бывают от нескольких лет до нескольких десятков лет (в редких случаях превышают 100 лет). Их орбиты сравнимы по размерам с орбитами планет-гигантов. Большинство спектрально-двойных звезд имеют периоды обращения порядка нескольких суток, располагаясь друг от друга на расстоянии 5—7 млн км. Самый короткий из известных периодов составляет всего 2,6 ч.

$$\frac{m_1 + m_2}{A^3} T_1^2 = \frac{M_1 + M_2}{a^3} T_2^2,$$

где  $m_1$  и  $m_2$  — массы компонентов звездной пары;  $M_1$  и  $M_2$  — массы Солнца и Земли;  $T_1$  — период обращения звезд;  $T_2$  — период обращения Земли;  $A$  — большая полуось орбиты двойной звезды;  $a$  — большая полуось земной орбиты.

- Несмотря на многочисленность двойных звезд, достаточно надежно определены орбиты лишь примерно для сотни из них. При известном расстоянии до этих систем использование третьего закона Кеплера позволяет определить их массу.

- Приняв период обращения Земли и величину большой полуоси ее орбиты равными 1, и пренебрегая массой Земли по сравнению с массой Солнца, получим, что в массах Солнца:

$$m_1 + m_2 = A^3 : T_1^2$$

Чтобы определить массу каждой звезды, надо изучить движение каждой из них и вычислить их расстояния  $A_1$  и  $A_2$  ( $A = A_1 + A_2$ ) от общего центра масс. Тогда мы получим второе уравнение:

$$m_1 : m_2 = A_2 : A_1.$$

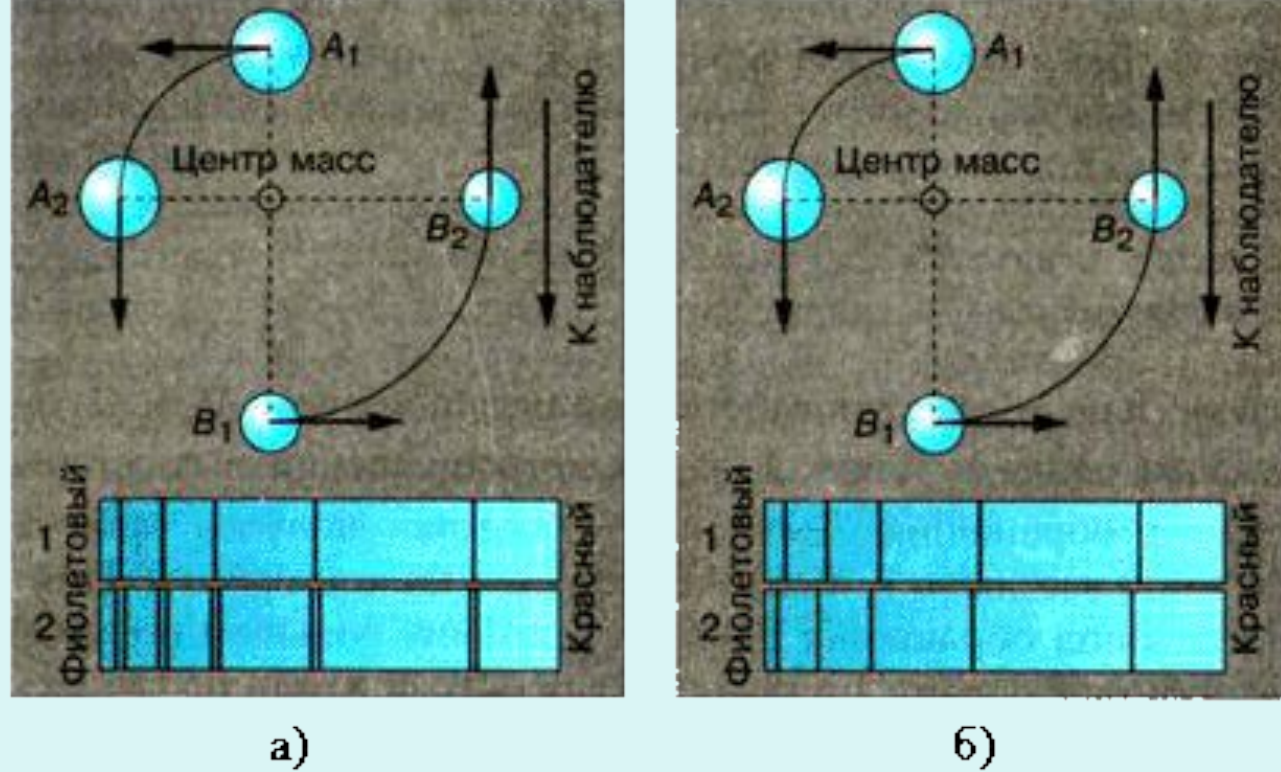
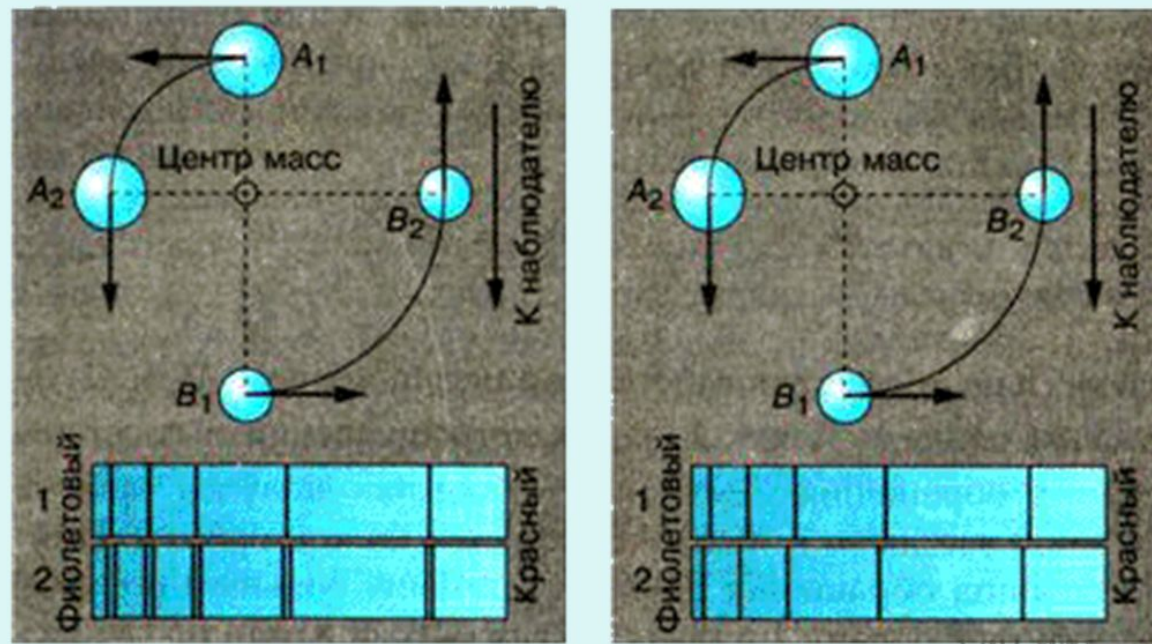


Рис. 5.16. Раздвоение линий в спектре двойной звезды

У спектрально-двойных звезд наблюдается смещение (или раздвоение) линий в спектре, которое происходит вследствие эффекта Доплера. Оно меняется с периодом, равным периоду обращения пары. Если яркости и спектры звезд, составляющих пару, сходны, то в спектре наблюдается периодическое раздвоение линий (рис. 5.16, а).



а)

б)

Рис. 5.16. Раздвоение линий в спектре двойной звезды

- Пусть компоненты  $A$  и  $B$  занимают положения  $A_2$  или  $B_2$ , когда один движется по направлению к наблюдателю, а другой — от него. Спектральные линии приближающейся звезды сместятся к фиолетовому концу спектра, а удаляющейся — к красному. Линии в спектре будут раздвоены. В положениях  $A_1$  и  $B_1$  оба компонента движутся перпендикулярно к лучу зрения, и раздвоения линий не наблюдается. Если одна из звезд настолько слаба, что ее линии не видны, то будет наблюдаться периодическое смещение линий более яркой звезды (рис. 5.16, б).

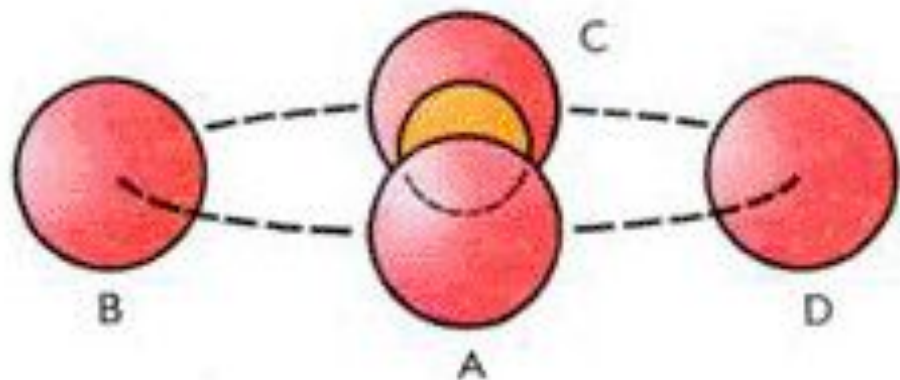
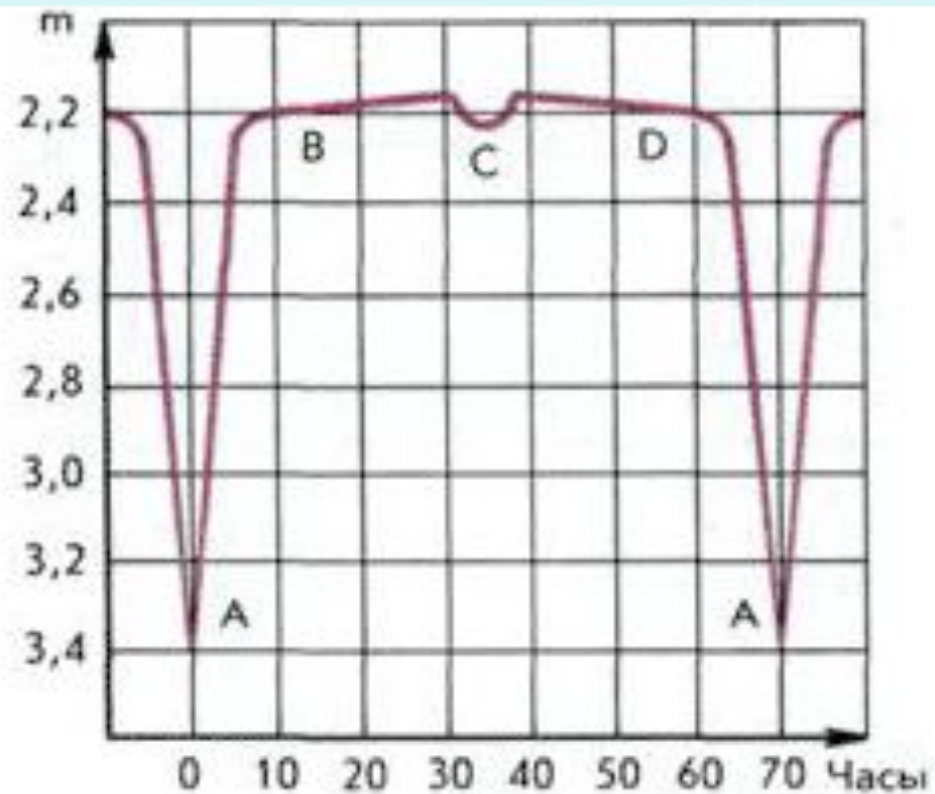


Рис. 5.17. Схема затмений и кривая блеска Алголя

- Для наблюдателя, который находится в плоскости орбиты спектрально-двойной звезды, ее компоненты будут поочередно загоразивать, «затмевать» друг друга. Такие звезды называют затменно-двойными или алголями — по названию наиболее известной звезды этого типа  $\beta$  Персея. Ее арабское название «эль гуль» (дьявол) постепенно превратилось в Алголь. Возможно, что еще древние арабы заметили странное поведение этой звезды: в течение 2 суток 11 часов ее яркость остается постоянной, но затем за 5 часов она ослабевает от 2,3 до 3,5 звездной величины, а за следующие 5 часов ее прежняя яркость восстанавливается (рис. 5.17).



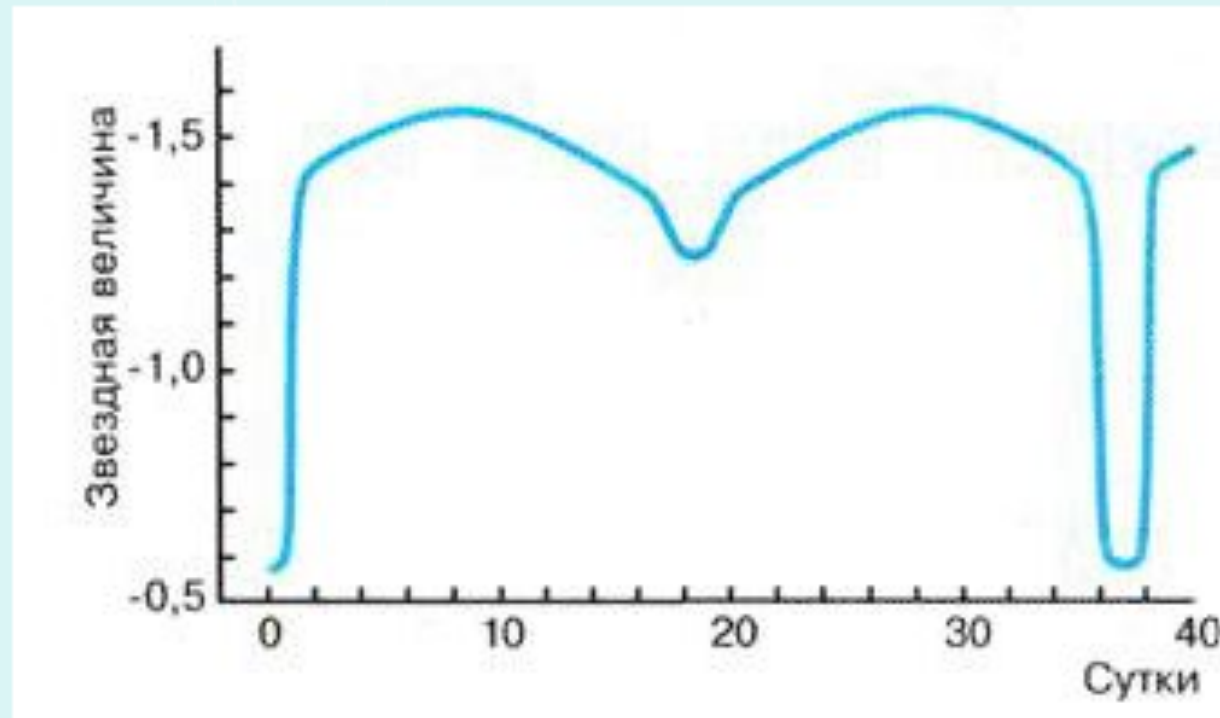



Рис. 5.18. Кривая блеска несферической двойной звезды

- **Форма кривой блеска некоторых звезд свидетельствует о том, что их форма существенно отличается от сферической (рис. 5.18). Близкое расположение компонентов приводит к тому, что газы из атмосферы одной звезды перетекают на другую. Иногда эти процессы принимают катастрофический характер, и наблюдается вспышка Новой звезды.**



- **Определение масс звезд на основе исследований двойных звезд показало, что они заключены в пределах от 0,03 до 60 масс Солнца. При этом большинство из них имеют массу от 0,3 до 3 масс Солнца. Очень большие массы встречаются крайне редко.**

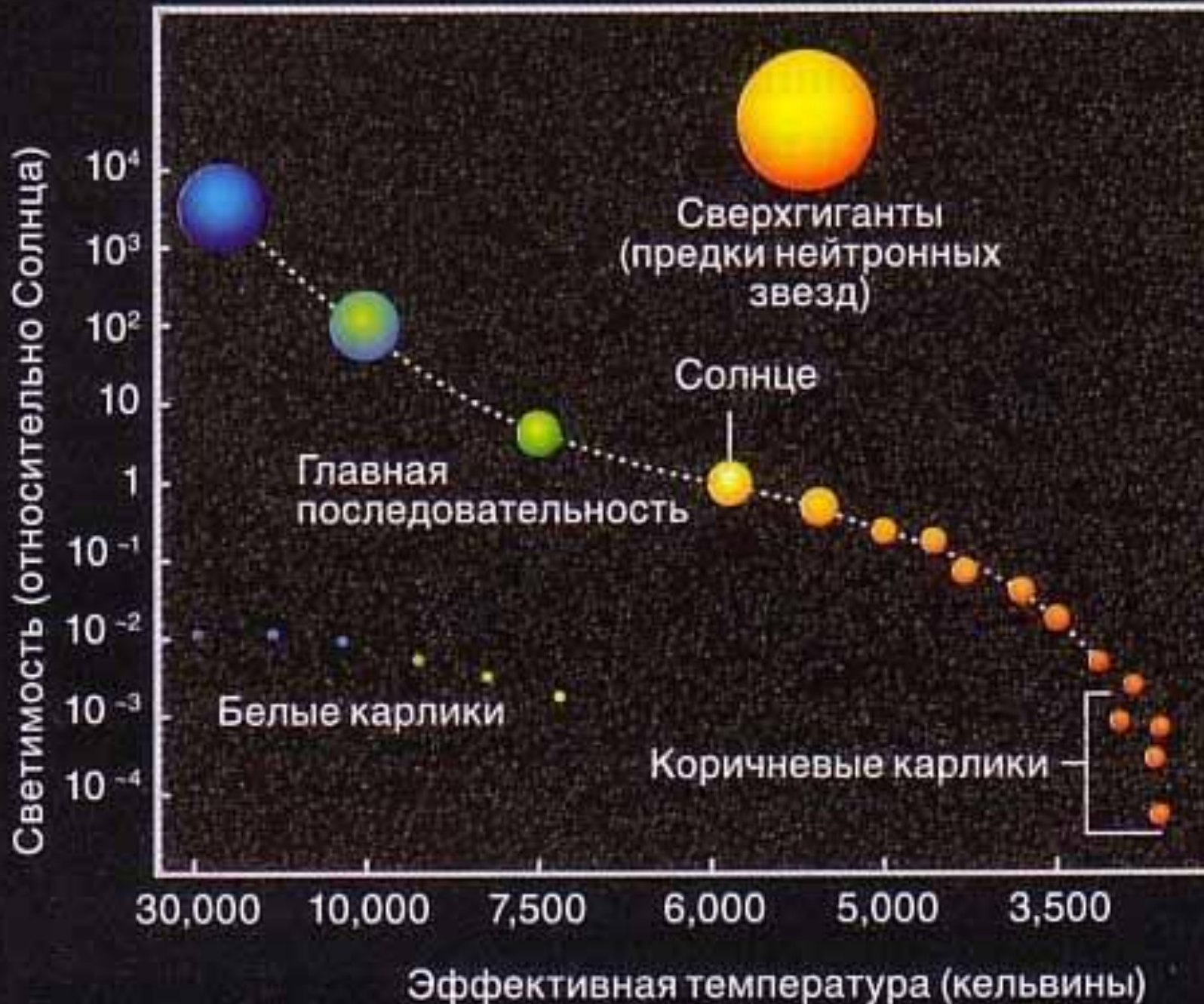
The background features a light blue gradient with faint, semi-transparent circular patterns and numerical scales. Some of the visible numbers include 150, 160, 170, 180, 190, 200, 230, 240, 250, and 260. The text is centered in a bold, dark blue serif font.

**РАЗМЕРЫ ЗВЕЗД.  
ПЛОТНОСТЬ ИХ ВЕЩЕСТВА**



- К сожалению, звезды расположены так далеко от нас, что за редким исключением они даже в самые мощные телескопы видны как точки. Лишь в последние годы для некоторых самых крупных из них удалось получить изображение в виде диска, на котором обнаруживаются пятна (рис. 5.19).

Рис. 5.19. Пятна на диске Бетельгейзе



- В большинстве случаев размеры звезд приходится рассчитывать на основе данных об их светимости и температуре. Светимость звезды рассчитывается по той же формуле, что и светимость Солнца:

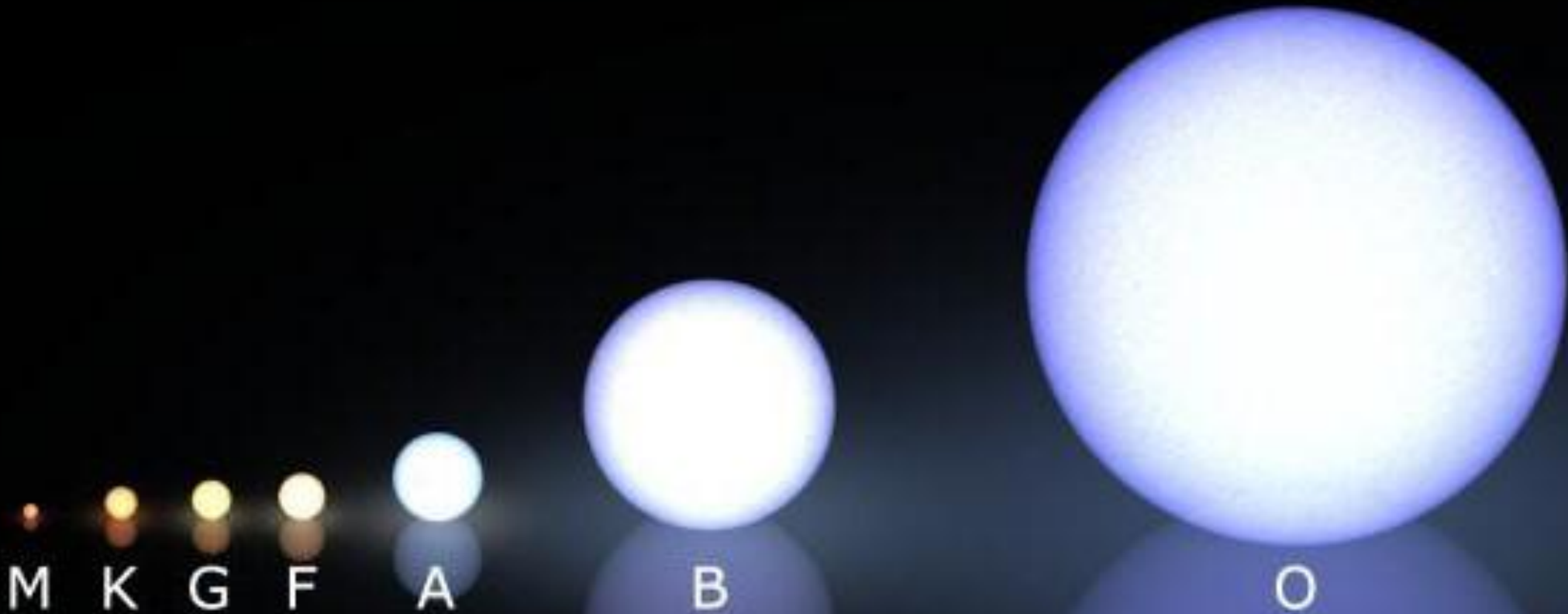
$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4$$

- Отношение светимостей звезды и Солнца будет равно:

$$\frac{L}{L_{\odot}} = \left(\frac{R}{R_{\odot}}\right)^2 \left(\frac{T}{T_{\odot}}\right)^4.$$

$$R = \sqrt{L} \frac{T_{\odot}^2}{T^2}.$$

(в радиусах  
Солнца)



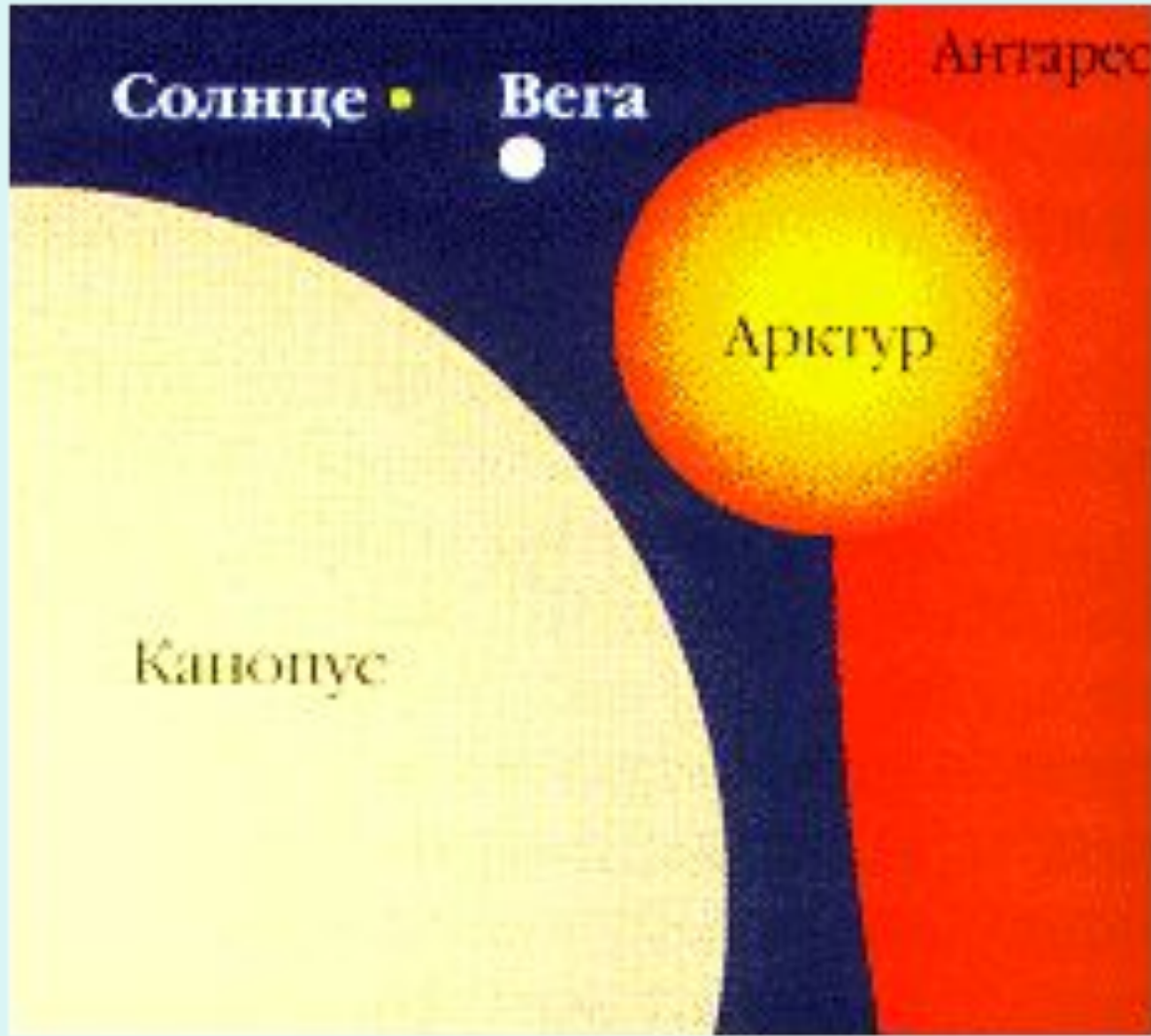
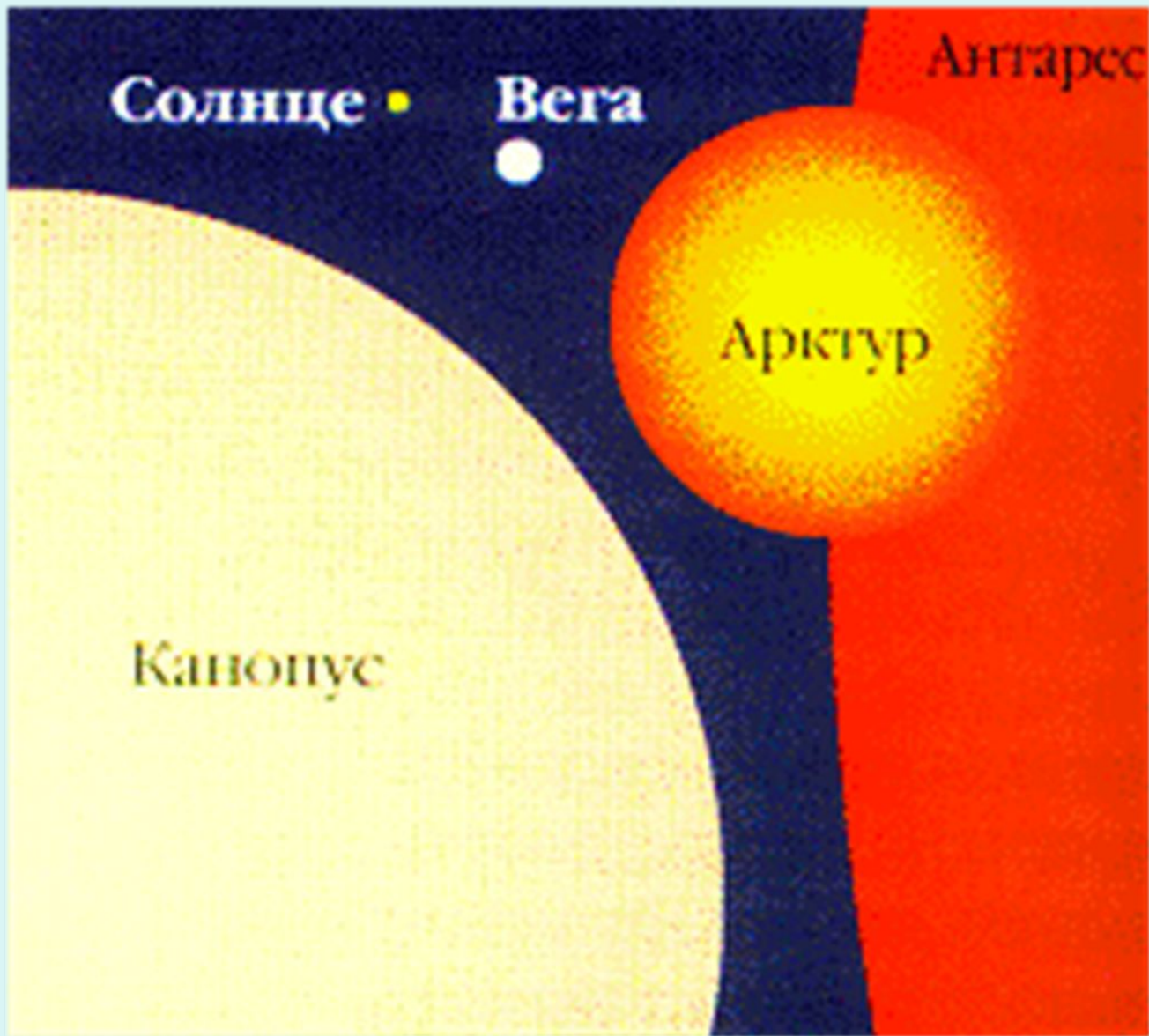


Рис. 5.20. Солнце в сравнении с гигантами и сверхгигантами

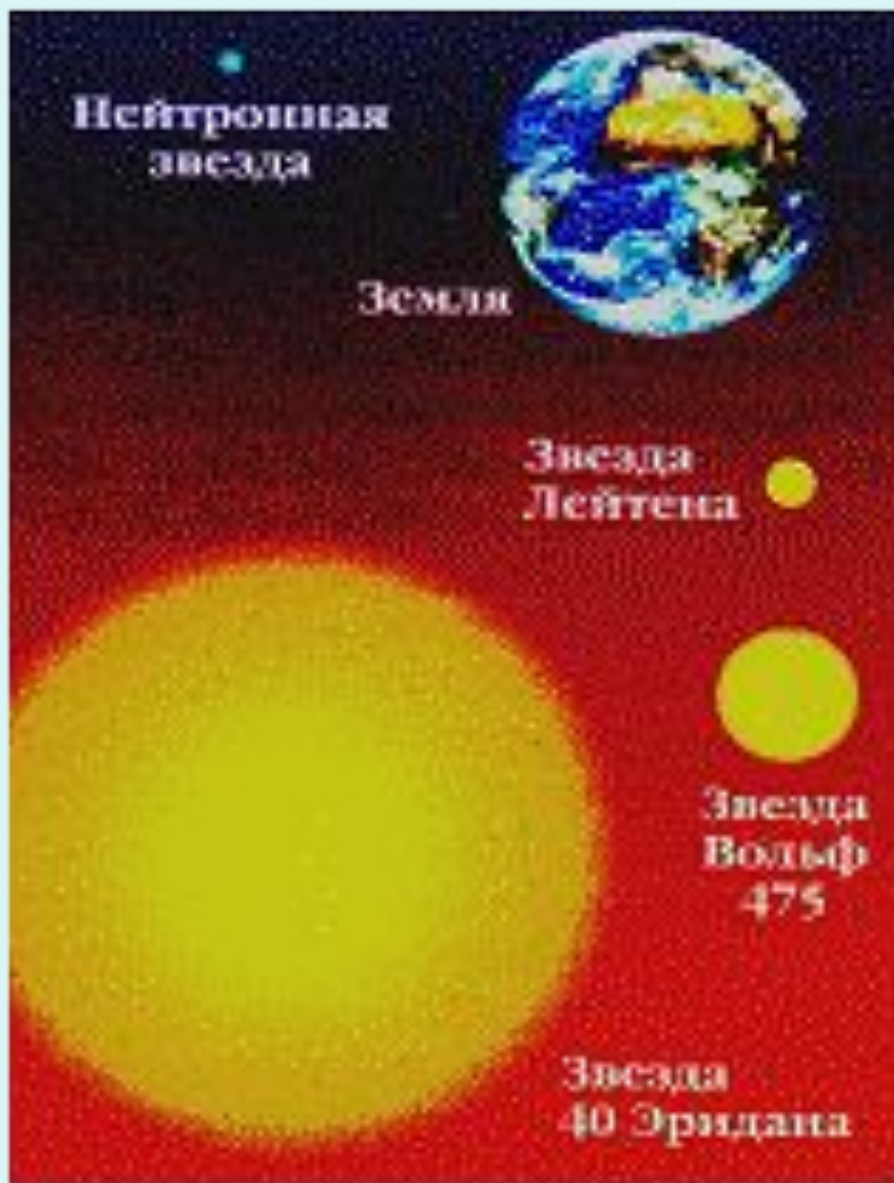
- **Результаты этих вычислений достаточно хорошо согласуются с данными непосредственных измерений с помощью интерферометра размеров наиболее крупных звезд, расстояния до которых невелики.**



- **Звезды самой большой светимости (сверхгиганты) действительно оказались очень большими. Красные сверхгиганты Антарес и Бетельгейзе в сотни раз больше Солнца по диаметру (рис. 5.20).**

**Рис. 5.20. Солнце в сравнении с гигантами и сверхгигантами**





**Рис. 5.21. Размеры звезд-карликов**

- Зато диаметр красных карликов, относящихся к главной последовательности, в несколько раз меньше солнечного. Самыми маленькими звездами являются белые карлики, диаметр которых несколько тысяч километров (рис. 5.21).



- **Расчеты средней плотности звезд различных типов, проведенные на основе имеющихся данных об их массе и размерах, показывают, что она может значительно отличаться от средней плотности Солнца. Так, средняя плотность некоторых сверхгигантов составляет всего  $10^{-3}$  кг/м<sup>3</sup>, что в 1000 раз меньше плотности воздуха при нормальных условиях. Другой крайностью является плотность белых карликов — около  $10^9$  кг/м<sup>3</sup>.**



# МОДЕЛІ ЗВЕЗД

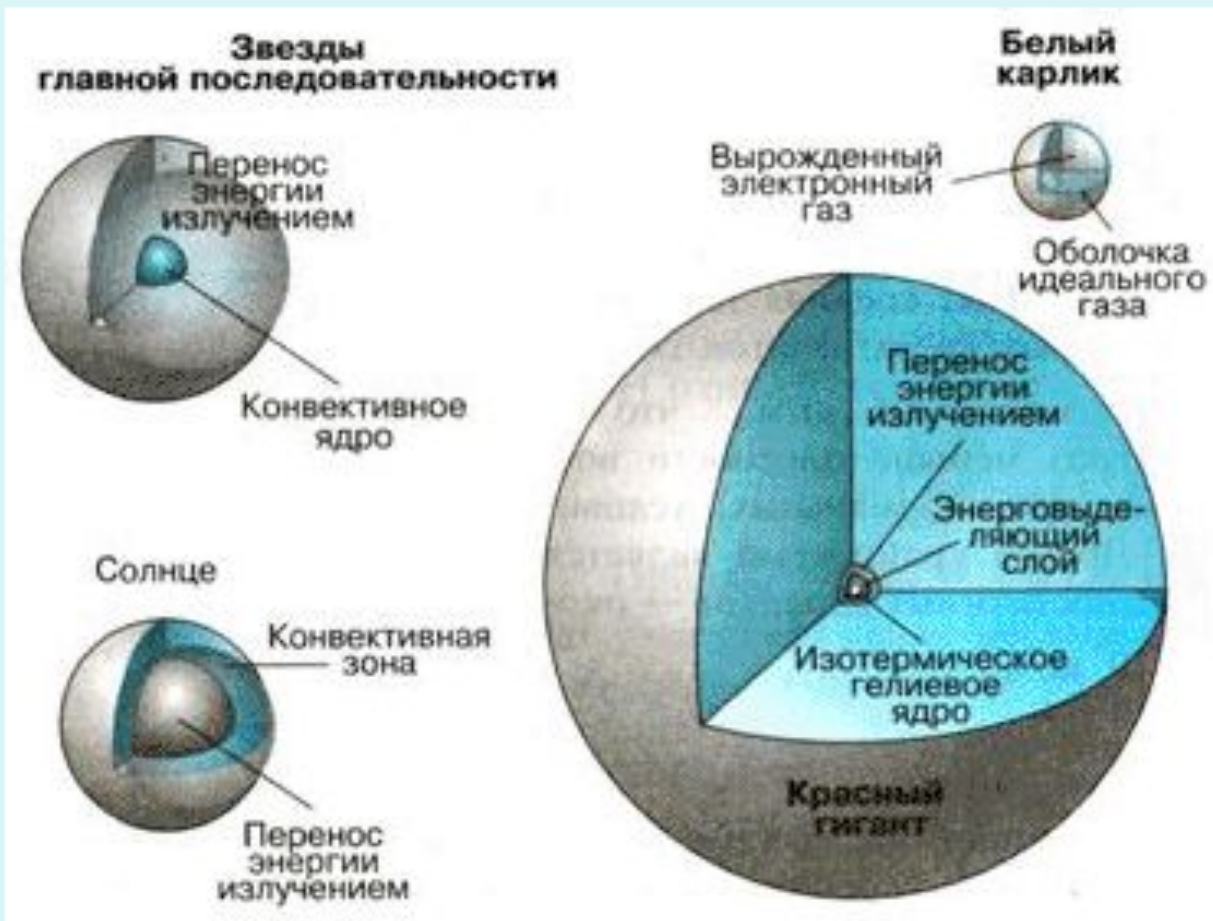
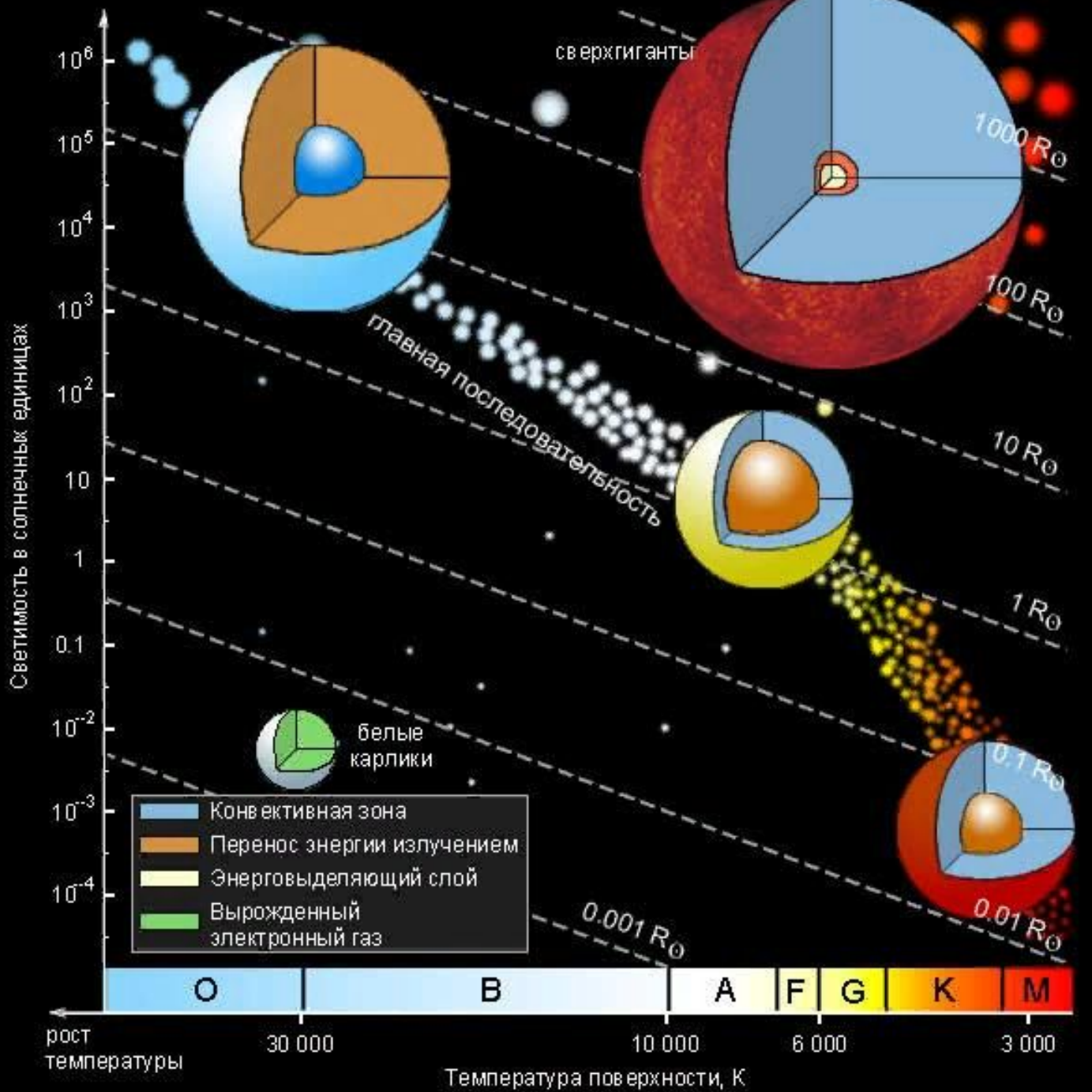
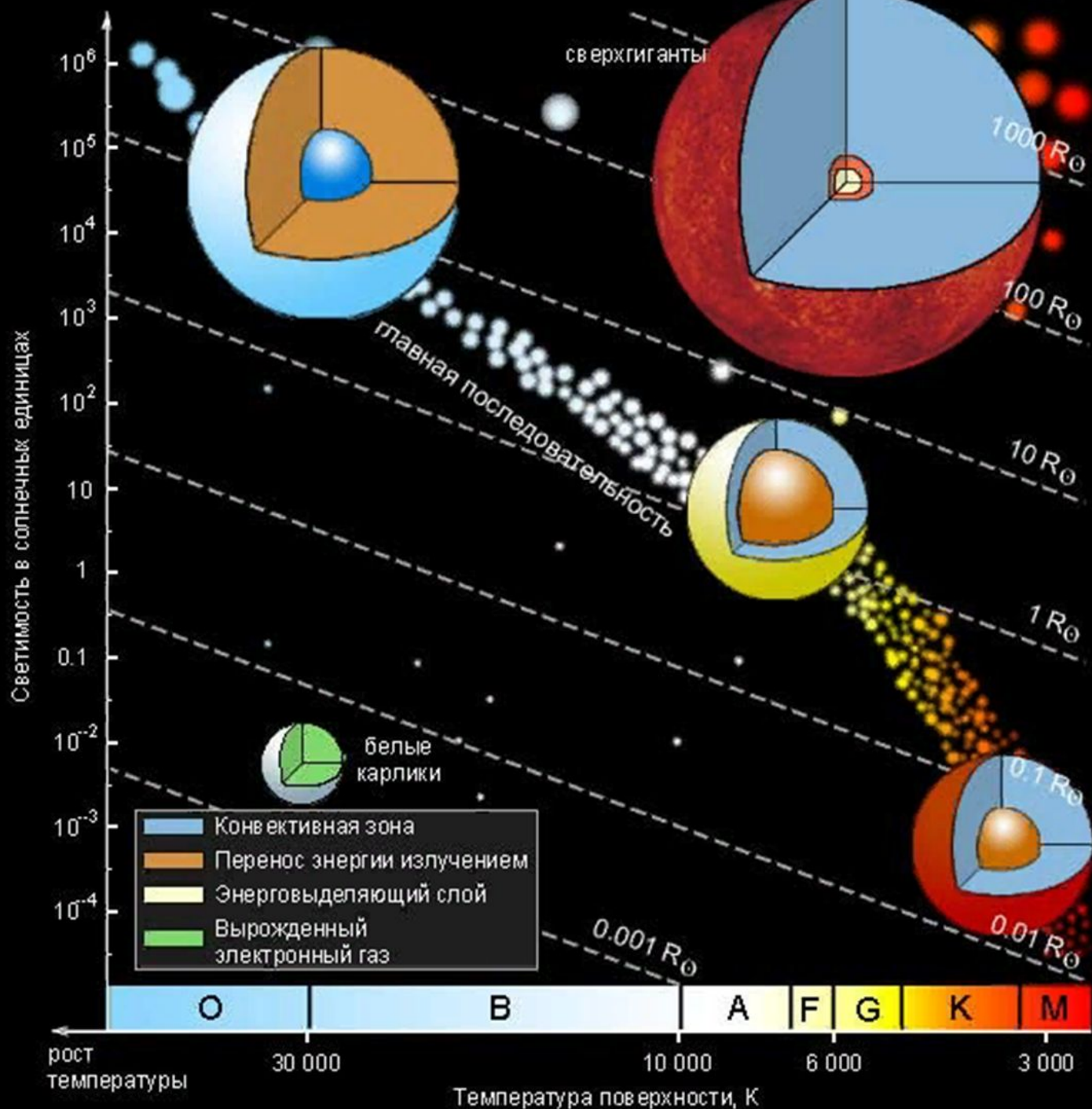


Рис. 5.22. Внутреннее строение звезд различных классов

- В зависимости от массы и размеров звезды различаются по внутреннему строению, хотя все имеют примерно одинаковый химический состав (95—98% их массы составляют водород и гелий).
- Звезды главной последовательности, температура которых такая же, как у Солнца, или ниже, похожи на него по внутреннему строению. У более горячих звезд главной последовательности внешняя конвективная зона отсутствует. В этих звездах конвекция происходит в ядре протяженностью до  $1/4$  их радиуса, окруженном лучистой оболочкой (рис. 5.22).



- Гиганты и сверхгиганты имеют очень маленькое ядро (его радиус около 0,001 доли радиуса звезды). Термоядерные реакции происходят в окружающем его тонком слое; далее на протяжении около 0,1 радиуса звезды происходит передача энергии излучением. Практически весь остальной объем (9/10 радиуса) составляет протяженная конвективная зона.**



- Белые карлики состоят из вырожденного газа, давление которого определяется лишь его плотностью и не зависит от температуры. Равновесие такой «экзотической» звезды, масса которой равна солнечной, наступает лишь тогда, когда она сожмется до размеров, примерно равных размерам Земли. Внутри белого карлика температура достигает 10 млн К и практически не меняется; только в тонкой оболочке из «обычного» вещества она резко падает до 10 000 К.

- **Понять, как связаны между собой различные типы звезд, как они возникают и как происходит их эволюция, оказалось возможным только на основе изучения всей совокупности звезд, образующих огромные звездные системы — *галактики*.**

# Цикл жизни звезды





# ВОПРОСЫ

- 1. Чем объясняется изменение яркости некоторых двойных звезд?
- 2. Во сколько раз отличаются размеры и плотности звезд сверхгигантов и карликов?
- 3. Каковы размеры самых маленьких звезд?

# УПРАЖНЕНИЕ

1. Определите сумму масс двойной звезды Капелла, если большая полуось ее орбиты равна  $0,85$  а. е., а период обращения  $0,285$  года.
2. Во сколько раз светимость Ригеля больше светимости Солнца, если его параллакс равен  $0,003''$ , а видимая звездная величина  $0,34$ ?
3. Какова средняя плотность красного сверхгиганта, если его диаметр в  $300$  раз больше солнечного, а масса в  $30$  раз больше массы Солнца?