

Внимательно читаем параграф, письменно отвечаем на вопросы.

## ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗВЁЗД

Как и Солнце, звёзды освещают Землю, но из-за огромного расстояния до них освещённость, которую они создают на Земле, на много порядков меньше солнечной.

**ТЕМПЕРАТУРА И ЦВЕТ ЗВЁЗД** Имеется связь между звёздной величиной и освещённостью, создаваемой звездой:

$$m = -2,5 \lg E - 19 \text{ или } E = 10^{-0,4(19+m)}.$$

Наблюдения показали, что среди звёзд встречаются в сотни тысяч раз более мощные, чем Солнце, и звёзды со светимостями в десятки тысяч раз меньшими, чем у нашего Солнца.

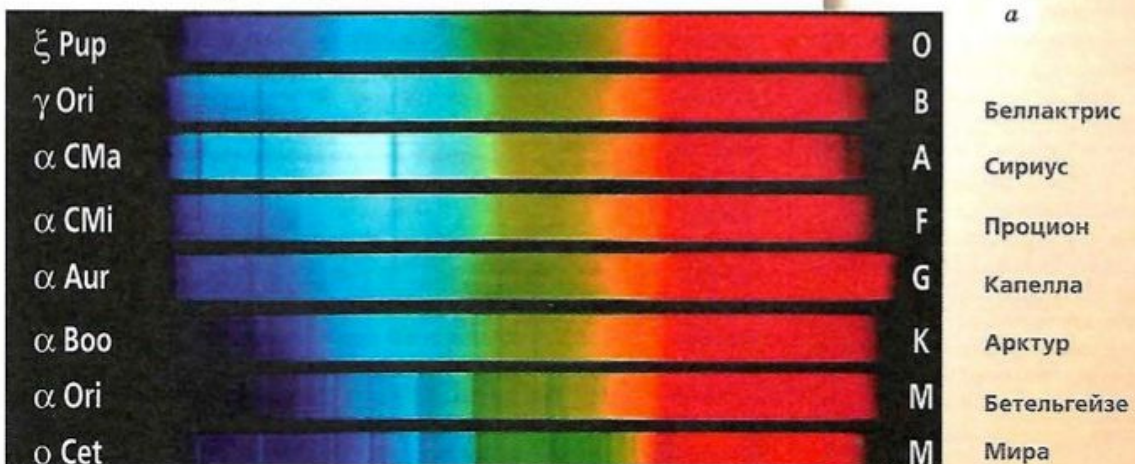
Определения температур поверхности звёзд показали, что от температуры поверхности звезды зависит её видимый цвет и наличие спектральных линий поглощения тех или иных химических элементов в её спектре.

Так, Сириус сияет белым цветом и его температура равна почти 10 000 К. В спектре хорошо видны линии поглощения атомами водорода ( $H_\alpha$ ,  $H_\beta$ ,  $H_\gamma$ ). Звезда Бетельгейзе ( $\alpha$  Ориона) имеет красный цвет и температуру поверхности около 3000 К. В спектре звёзд (рис. а) видны линии молекул оксида титана  $TiO$ . Солнце жёлтого цвета, имеет температуру 6000 К.

По температуре, цвету и виду спектра все звёзды разбили на спектральные классы, которые обозначаются буквами O, B, A, F, G, K, M.

Почему же спектры звёзд различны, хотя их химический состав примерно одинаков? Дело в том, что при температуре около 3000 К существуют молекулярные соединения, которые и вызывают в спектре фотосферы звезды полосы поглощения.

Спектры звёзд различных спектральных классов



# 22

### ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Каковы основные характеристики звёзд.
- Что лежит в основе спектральной классификации звёзд.
- Что представляет собой диаграмма «Спектральный класс — светимость звёзд».
- Какова связь между массой и светимостью звезды.

### ВСПОМНИТЕ:

- Каков источник энергии Солнца?
- Каково строение Солнца?

Полярная звезда имеет звёздную величину  $m = 2^m$  и создаёт освещённость на поверхности Земли  $E = 4 \cdot 10^{-9}$  Вт/м<sup>2</sup>, что в 3000 млрд раз меньше освещённости, создаваемой Солнцем. Расстояние до Полярной звезды составляет 200 пк, или около 650 св. лет ( $r = 6 \cdot 10^{18}$  м). Поэтому светимость Полярной звезды:

$$L_p = 4\pi r^2 \cdot E = 4 \cdot 3,14 \cdot (6 \cdot 10^{18} \text{ м})^2 \times 4 \cdot 10^{-9} \text{ Вт/м}^2 = 6 \cdot 10^{29} \text{ Вт} = 4600 L_\odot.$$

Несмотря на малую видимую яркость этой звезды, её светимость в 4500 раз превышает солнечную.

Спектральный класс	Цвет	Температура, К	Типичные звёзды
<b>O</b>	Голубой	20 000	Наос (ζ Кормы)
<b>B</b>	Белый, голубой	15 000	Беллактрис (γ Ориона)
<b>A</b>	Белый	10 000	Сириус
<b>F</b>	Жёлтый, белый	8 000	Альтаир (α Орла)
<b>G</b>	Жёлтый	6 000	Солнце
<b>K</b>	Жёлтый, оранжевый	4 500	Альдебаран (α Тельца)
<b>M</b>	Оранжевый, красный	3 000	Бетельгейзе (α Ориона)

### Спектральная классификация звёзд

Чтобы понять, чем объясняются наблюдаемые различия звёзд разных групп, вспомним связь между светимостью, температурой и радиусом звезды:  $L = 4\pi R^2 \sigma T^4$ . Сравним две звезды спектрального класса К. Одна — звезда главной последовательности (ГП), другая — красный гигант (КГ). У них одинаковая температура  $T = 4500$  К, а светимости различаются в тысячу раз:

$$\frac{L_{\text{КГ}}}{L_{\text{ГП}}} = \left(\frac{R_{\text{КГ}}}{R_{\text{ГП}}}\right)^2,$$

$$\frac{R_{\text{КГ}}}{R_{\text{ГП}}} = \left(\frac{L_{\text{КГ}}}{L_{\text{ГП}}}\right)^{\frac{1}{2}} \approx \sqrt{(1000)} \approx 30,$$

т.е. звёзды — красные гиганты больше по размерам в десятки раз, чем звёзды главной последовательности.

При более высокой температуре молекулярные соединения распадаются, и соответствующие им спектральные полосы исчезают. Зато хорошо видны линии, свойственные нейтральным металлам, атомы которых возбуждаются и поглощают свет определённых длин волн, соответствующих их природе.

При температуре 6000 К многие металлы ионизируются, и поэтому в спектрах появляются линии ионизированных металлов. Атомы же водорода и гелия проявляют себя слабо, так как такая и более низкие температуры недостаточны для возбуждения всей водородной и гелиевой массы, и только некоторая часть их

атомов поглощает свет. Но если температура фотосферы близка к 10 000 К, то энергии излучения вполне достаточно, чтобы возбудить почти все атомы водорода, поэтому в спектрах А-звёзд водородные линии поглощения особенно интенсивны.

При температуре около 20 000 К значительная часть атомов водорода ионизована и спектральные водородные линии поглощения ослаблены. Зато такая температура вызывает активное возбуждение атомов гелия. Этим и объясняются интенсивные линии поглощения гелия в спектрах В-звёзд.

Наконец, при температуре около 30 000 К уже многие атомы гелия ионизованы, а атомы кислорода и азота претерпевают многократную ионизацию, поэтому в спектрах О-звёзд хорошо проявляются спектральные линии, соответствующие этим ионам.

**ДИАГРАММА ГЕРЦШПРУНГА—РЕССЕЛА** Имеется ещё одна интересная связь между спектральным классом звезды и её светимостью, которая представляется в виде диаграммы «Спектр — светимость» (также её называют диаграммой Герцшпрунга—Рессела в честь астрономов Э. Герцшпрунга и Г. Н. Рессела, построивших эту диаграмму).

На диаграмме чётко выделяются четыре группы звёзд:

- **главная последовательность.** На неё ложатся параметры большинства звёзд. К звёздам главной последовательности относятся Солнце, Сириус. Плотности звёзд главной последовательности сравнимы с солнечной плотностью;

- **красные гиганты.** К этой группе в основном относятся звёзды красного цвета с радиусами, в десятки раз превышающими солнечный, например звезда Арктур

( $\alpha$  Волопаса), радиус которой превышает солнечный в 25 раз, а светимость — в 140 раз;

- **сверхгиганты.** Звёзды со светимостями, в десятки и сотни тысяч раз превышающими солнечную. Радиусы этих звёзд в сотни раз превышают радиус Солнца. К сверхгигантам красного цвета относится Бетельгейзе. При массе примерно в 15 раз больше солнечной её радиус превышает солнечный почти в 1000 раз. Средняя плотность этой звезды составляет всего  $2 \cdot 10^{-11}$  кг/м<sup>3</sup>, что более чем в 1 000 000 раз меньше плотности воздуха;

- **белые карлики.** Группа звёзд в основном белого цвета со светимостями в сотни и тысячи раз меньше солнечной. Они расположены слева внизу диаграммы. Эти звёзды имеют радиусы почти в сто раз меньше солнечного и по размерам сравнимы с планетами. Примером белого карлика служит звезда Сириус В — спутник Сириуса. При массе, почти равной солнечной, и размере в 2,5 раза больше Земли имеет гигантскую среднюю плотность  $\rho = 3 \cdot 10^5$  т/м<sup>3</sup>.

**МАССЫ ЗВЁЗД** удалось измерить только у звёзд, входящих в состав двойных систем. Масса определялась по параметрам орбит звёзд и периоду их обращения вокруг друг друга с использованием третьего обобщённого закона Кеплера. Оказалось, что массы всех звёзд лежат в пределах  $0,05M_{\odot} < M < 100M_{\odot}$ .

Для звёзд главной последовательности имеется связь между массой звезды и её светимостью: чем больше масса звезды, тем больше её светимость.

$$L \approx L_{\odot} \cdot \left( \frac{M}{M_{\odot}} \right)^4$$

Так, звезда спектрального класса В имеет массу около  $M \approx 20M_{\odot}$ , и её светимость почти в 100 000 раз больше солнечной.

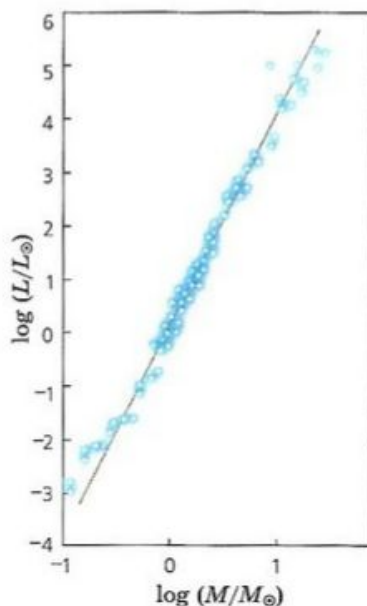


Диаграмма «Масса — светимость» для звёзд главной последовательности

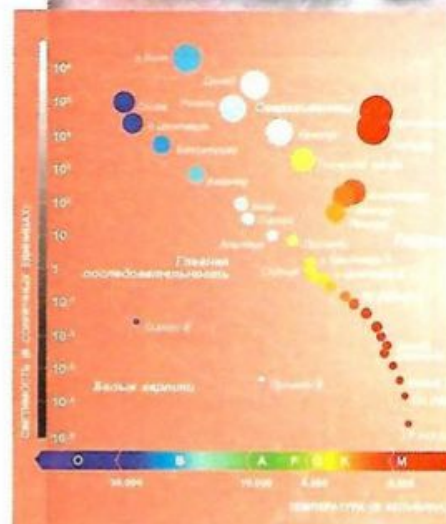


Диаграмма «Спектр — светимость»: по оси ординат отложена светимость в светимостях Солнца, а по оси абсцисс — спектральный класс и температура

#### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ:

- Во сколько раз различаются светимости звёзд главной последовательности с массами  $M_1 = 5M_{\odot}$  и  $M_2 = 50M_{\odot}$ ?
- В звёздах какого спектрального класса водородные линии серии Бальмера наиболее сильные?
- Если звезда главной последовательности А более массивная, чем звезда главной последовательности Б, то какая из них обладает большей светимостью? У какой из них время жизни больше?
- Существуют две звезды одинаковой светимости, одна из которых находится на расстоянии 10 пк, а другая — 1000 пк от Земли. Во сколько раз различаются освещённости, создаваемые этими звёздами на Земле? На сколько отличаются их видимые звёздные величины?