



Основные характеристики звезд

Темы презентации



1. Диаграмма «спектр — светимость»
2. Главная последовательность
3. Красные гиганты
4. Сверхгиганты
5. Белые карлики
6. Источник энергии Солнца и звезд

1. Диаграмма «спектр — светимость»

Как и Солнце, звезды освещают Землю, но из-за огромного расстояния до них освещенность, которую они создают на Земле, на много порядков меньше солнечной. Полярная звезда создает освещенность на поверхности Земли $E = 3,8 * 10^{-9}$ Вт/м², что в 370 млрд. раз меньше освещенности, создаваемой Солнцем.

Расстояние до Полярной звезды составляет 200 паралаксов, или около 650 св. лет ($r = 6 * 10^{18}$ м). Поэтому светимость Полярной звезды $L_p = 4 \pi r^2 E = 4 * 3,14 * (6 * 10^{18} \text{ м})^2 * 3,8 * 10^{-9} \text{ Вт/м}^2 = 9,1 * 10^{29} \text{ Вт} = 4600 L_{\odot}$. Как видим, несмотря на малую видимую яркость этой звезды, ее светимость в 4600 раз превышает солнечную.

Спектральная классификация звезд

Измерения температур поверхности звезд показали, что температура поверхности звезды определяет ее видимый цвет и наличие спектральных линий поглощения тех или иных химических элементов в ее спектре. Так, Сириус сияет белым цветом и его температура равна почти 10 000 К. Звезда Бетельгейзе имеет красный цвет и температуру поверхности около 3000 К. Солнце желтого цвета имеет температуру 6000 К. По температуре, по цвету и виду спектра все звезды разбили на спектральные классы, которые обозначаются буквами O, B, A, F, G, K, M. Спектральная классификация звезд приведена ниже в таблице.

Спектральная классификация звезд

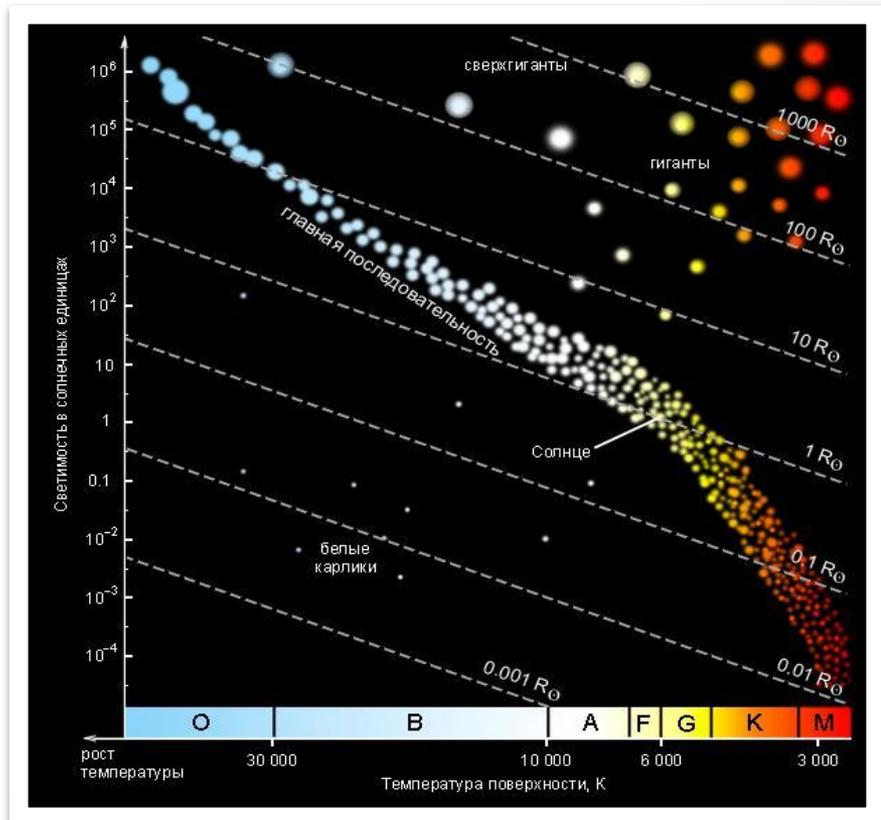
Спектральный класс	Цвет	Температура (К)	Примеры звезд
O	Голубой	30 000	Беллатрикс (γ Ориона)
B	Бело-голубой	20 000	Регул (α Лиры)
A	Белый	10 000	Сириус
F	Желто-белый	8000	Альгаир (α Орла)
G	Желтый	6000	Солнце
K	Оранжевый	5000	Альдебаран (α Тельца)
M	Красный	3500	Бетельгейзе (α Ориона)

Спектральный класс

Имеется еще одна интересная связь между спектральным классом звезды и ее светимостью, которая представляется в виде диаграммы «спектр — светимость» (ее еще называют диаграммой Герцшпрунга — Рессела в честь двух астрономов — Э. Герцшпрунга и Г. Рессела, построивших ее). На диаграмме четко выделяются четыре группы звезд.

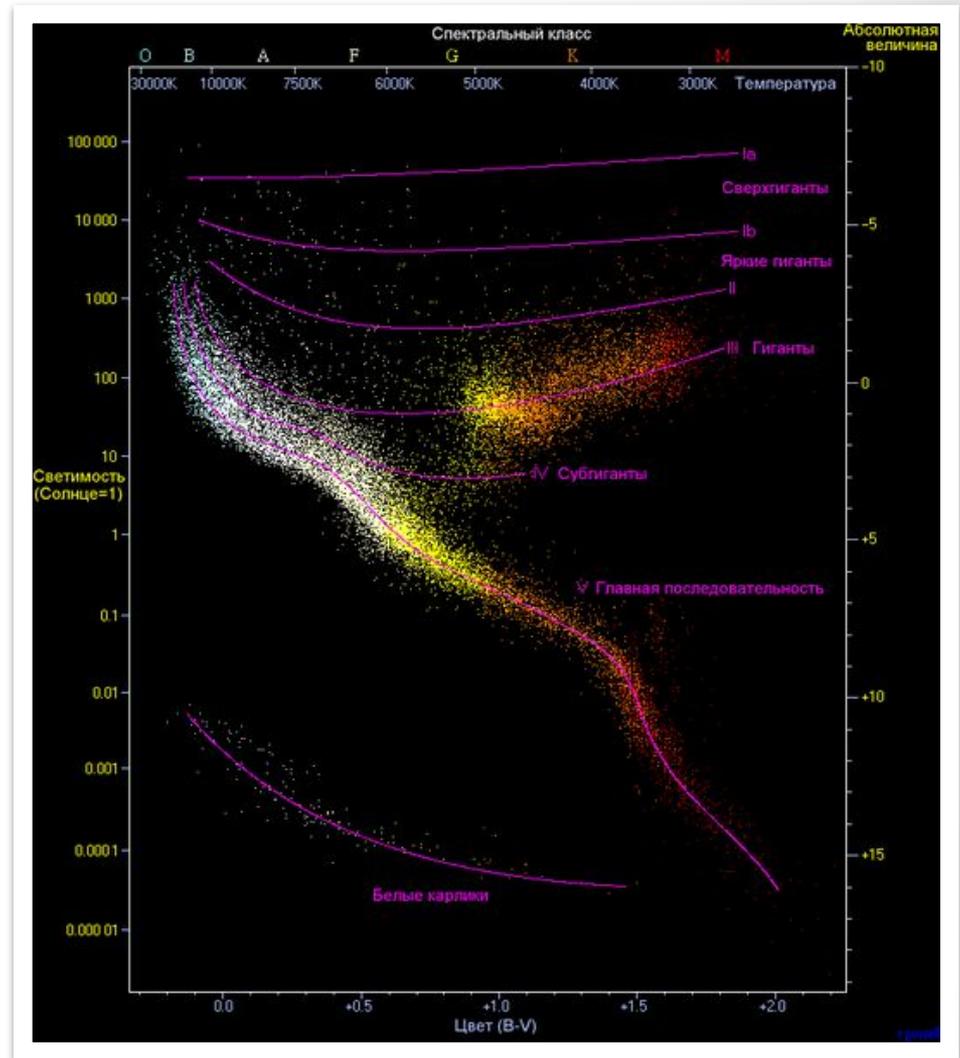


Рис. 16.2



2. Главная последовательность

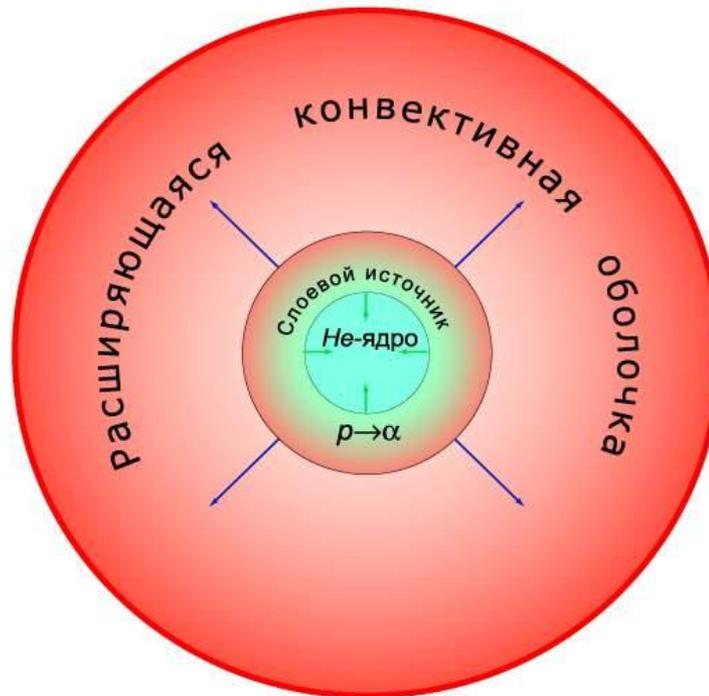
Главная последовательность — область на диаграмме Герцшпрунга — Рассела, содержащая звёзды, источником энергии которых является термоядерная реакция синтеза гелия из водорода. На неё ложатся параметры большинства звезд. К звездам главной последовательности относится и наше Солнце.



3. Красные гиганты

Красные гиганты и сверхгиганты — звёзды поздних спектральных классов с высокой светимостью и протяжёнными оболочками. К этой группе в основном относятся звезды красного цвета с радиусами, в десятки раз превышающими солнечный, например звезда Арктур, радиус которой превышает солнечный в 25 раз, а светимость — в 140 раз.

Строение красного гиганта



4. Сверхгиганты

Сверхгиганты — одни из самых массивных звёзд. Это звезды со светимостями, в десятки и сотни тысяч раз превышающими солнечную. Радиусы этих звезд в сотни раз превышают радиус Солнца. К сверхгигантам красного цвета относится Бетельгейзе. При массе примерно в 15 раз больше солнечной ее радиус превышает солнечный почти в 1000 раз. Средняя плотность этой звезды составляет всего $2 \cdot 10^{-11}$ кг/м³, что более чем в 1 000 000 раз меньше плотности воздуха.



5. Белые карлики

Это группа звезд в основном белого цвета со светимостями в сотни и тысячи раз меньше солнечной. Эти звезды 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 большем, чем размер Земли, эта звезда имеет гигантскую среднюю плотность — $\rho = 3^8 * 10 \text{ кг/м}^3$.

Чтобы понять, чем объясняются наблюдаемые отличия звезд разных групп, сравним две звезды спектрального класса К, одна — главной последовательности (ГП), другая — красный гигант (КГ). У них одинаковая температура — $T = 4500 \text{ К}$, а светимости отличаются в тысячу раз:

L – светимость, R - радиус

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

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

5. Белые карлики (продолжение)

Массы звезд удалось измерить только у звезд, входящих в состав двойных систем. И они определялись по параметрам орбит звезд и периоду их обращения вокруг друг друга. Оказалось, что массы всех звезд лежат в пределах

$$0,05M_{\odot} \leq M \leq 100M_{\odot}$$

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

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

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

6. Источник энергии Солнца и звезд

По современным представлениям, источником энергии, поддерживающим излучения Солнца и звезд, служит ядерная энергия, которая выделяется при термоядерных реакциях образования (синтеза) ядер атомов гелия из ядер атомов водорода. При реакции синтеза из четырех ядер атомов водорода (четырех протонов) образуется ядро атома гелия, при этом выделяется энергия $\Delta E = 4,8 * 10^{-12}$ Дж, называемая энергией связи, два позитрона и две элементарные частицы нейтрино ($4\text{H} \rightarrow \text{He} + 2e^+ + 2\nu + \Delta E$).

Для протекания ядерных реакций необходима температура выше нескольких миллионов Кельвинов, при которой участвующие в реакции протоны с одинаковыми зарядами смогли бы получить достаточную энергию для взаимного сближения, преодоления электрических сил отталкивания и слияния в одно новое ядро. В результате термоядерных реакций синтеза из водорода массой 1 кг образуется гелий массой 0,99 кг, дефект масс $\Delta m = 0,01$ кг и выделяется энергия $q = \Delta mc^2 = 9 * 10^{14}$ Дж.

Время жизни СОЛНЦА

Теперь можно оценить, на сколько времени хватит у Солнца запасов водорода, чтобы поддерживать наблюдаемое свечение Солнца, т. е. время жизни Солнца.

Запас ядерной энергии

$$E = M_{\odot} q = 2 \cdot 10^{30} \cdot 9 \cdot 10^{14} = 1,8 \cdot 10^{45} \text{ Дж.}$$

Если поделить этот запас ядерной энергии на светимость Солнца L_{\odot} , то мы получим время жизни Солнца:

$$t_{\odot} = \frac{E}{L_{\odot}} = \frac{M_{\odot} q}{L_{\odot}} = \frac{1,8 \cdot 10^{45} \text{ Дж}}{4 \cdot 10^{26} \text{ Вт}} = 4,5 \cdot 10^{18} \text{ с} = 1,5 \cdot 10^{11} \text{ лет.}$$

Если учесть, что Солнце состоит по крайней мере на 70% из водорода и ядерные реакции протекают только в центре, в солнечном ядре, масса которого составляет около $0,1M_{\odot}$ и где температура достаточно высокая для протекания термоядерных реакций, то время жизни Солнца и звезд, похожих на Солнце, составит $t_{\odot} \approx 10^{10}$ лет. Солнце, по современным данным, существует уже около 5 млрд лет, так что ему еще жить и жить!

Термоядерные реакции синтеза гелия из водорода являются источником энергии звезд главной последовательности.

В заключении

Определение спектров, цвета, температуры, светимости и масс звезд позволили классифицировать их по спектральным классам и обнаружить связь между спектральным классом и светимостью звезд, а также связь между их массой и светимостью.



КОНЕЦ