

8. Абсолютная звездная величина Солнца равна  $M = 5^m$ . Определите расстояние, на котором оно будет наблюдаться как звезда 15-й звездной величины.

9. Звездное скопление содержит 100 звезд одинакового блеска  $m = 8^m$ . Найдите суммарную звездную величину скопления.

## § 23. Температура и размеры звезд

**1. Температура звезд.** В первом приближении можно считать, что звезды излучают как абсолютно черные тела. Температуру  $T$  поверхности (фотосферы) звезд можно определить из закона смещения Вина, а также воспользовавшись законом Стефана—Больцмана, как мы это уже делали при определении температуры Солнца (см. § 18):

$$T = \sqrt[4]{\frac{L}{4\pi R^2 \sigma}}. \quad (1)$$

Подсчитанную таким методом температуру называют **эффективной температурой**. Однако этот метод применяется ограниченно, так как достаточно точное значение радиусов измерено примерно у нескольких десятков ярких гигантских звезд.

Температуры звезд сильно различаются. Холодные красные звезды имеют температуру около 3000 К. Солнце с температурой фотосферы 6000 К относится к желтым карликам. Температура самых горячих звезд достигает 100 000 К. Основная часть излучения горячих звезд приходится на ультрафиолетовую область спектра, и мы их воспринимаем как звезды голубого цвета.

**2. Спектральная классификация звезд.** Звезды отличаются большим разнообразием, однако среди них можно выделить отдельные группы, обладающие общими свойствами. При первом знакомстве со звездным небом на себя обращает внимание тот факт, что звезды различаются по цвету. Гораздо сильнее это заметно при рассмотрении спектров. Важнейшие различия спектров звезд заключаются в количестве и интенсивности наблюдаемых спектральных линий, а также в распределении энергии в непрерывном спектре. С учетом видов спектральных линий и их интенсивности строится **спектральная классификация звезд**.

В Гарвардской обсерватории (США) в 20-е гг. XX в. была разработана классификация спектров звезд, в которой последовательность спектральных классов обозначается заглавными буквами латинского алфавита. Основные характеристики спектральных классов помещены на форзаце 4. Тонкие различия внутри каждого класса дополнительно подразделяют на 10 подклассов — от 0 до 9. Например, Солнце принадлежит к спектральному классу G2.

Данная последовательность спектральных классов отражает уменьшение температуры атмосфер (фотосфер) звезд от класса *O* к классу *L*. Спектральная последовательность одновременно является и цветовой: звезды класса *O* имеют голубоватый цвет, класса *B* — голубовато-белый, класса *A* — белый и т. д. Для запоминания этой последовательности используется следующая фраза (мнемоническое правило):

O	B	A	F	G	K	M	L
Один	Бритый	Англичанин	Финики	Жевал	Как	Мелкий	Лук

Химический состав атмосфер большинства звезд почти одинаков. Наружные слои звезд состоят из водородно-гелиевой смеси с очень малой добавкой более тяжелых элементов. Например, аналогично Солнцу другие звезды содержат в своих атмосферах 73 % водорода, 25 % гелия и 2 % всех остальных элементов.

Различия в спектрах звезд определяются главным образом различиями температуры. В фотосферах холодных звезд могут существовать простейшие молекулы. Поэтому характерными деталями спектров звезд классов *M* и *L* являются широкие полосы поглощения молекул, например  $C_2H$ . При более высоких температурах молекулярные соединения распадаются. В таких спектрах пропадают спектральные полосы молекулярных соединений, зато появляются линии, соответствующие нейтральным металлам. Таким образом, спектральная классификация звезд — это температурная классификация звездных спектров, основанная на оценках относительной интенсивности и вида спектральных линий.

В настоящее время спектральной классификацией охвачено более 500 тыс. звезд.

**3. Размеры звезд.** Линейный радиус  $R$  звезды можно определить, если известны ее угловой радиус  $\rho''$  и расстояние до звезды  $r$  или годичный параллакс  $\pi''$ , по формуле  $R = r \cdot \sin \rho''$ .

Так как  $r = \frac{206\,265''}{\pi''}$  а. е., для углового радиуса  $\sin \rho'' = \frac{\rho''}{206\,265''}$ , то имеем  $R = \frac{\rho''}{\pi''}$  а. е.

Линейные радиусы звезд принято выражать в радиусах Солнца. В радиусах Солнца 1 а. е. равна  $149,6 \cdot 10^6 \text{ км} : 0,696 \cdot 10^6 \text{ км} = 215$ . Используя это соотношение, получим формулу для определения линейных радиусов звезд в радиусах Солнца в следующем виде:

$$R = 215 \frac{\rho''}{\pi''}.$$

Звезды настолько далеки от нас, что их угловые размеры меньше предела разрешения крупнейших телескопов. Для ярких близких звезд угловой радиус находят

при помощи двух широко расставленных телескопов по интерференционной картине, которая получается в результате перекрытия изображений звезды. Например, с помощью оптического интерферометра, состоящего из двух сферических зеркал диаметром 6,6 м каждое, разнесенных на максимальное расстояние 180 м, удалось измерить угловой диаметр  $\varepsilon$  Ориона. Он оказался равным  $0,00072''$ , а так как годичный параллакс звезды равен  $\pi'' = 0,0024''$ , то  $R = 215 \cdot \frac{0,00036''}{0,0024''} = 32R_{\odot}$ .

Радиусы звезд могут быть вычислены по их мощности излучения (светимости) и температуре. Запишем значение полной мощности излучения для какой-либо звезды и для Солнца:

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

$$L_{\odot} = 4\pi R_{\odot}^2 \sigma T_{\odot}^4,$$

где  $L$  и  $L_{\odot}$ ,  $R$  и  $R_{\odot}$ ,  $T$  и  $T_{\odot}$  — соответственно светимости, линейные радиусы и абсолютные температуры звезды и Солнца.

Принимая  $L_{\odot} = 1$  и  $R_{\odot} = 1$ , получим:

$$L = R^2 \frac{T^4}{T_{\odot}^4},$$

или окончательно в линейных радиусах Солнца:

$$R = \sqrt{L} \left( \frac{T_{\odot}}{T} \right)^2. \quad (2)$$

Диаметры звезд сильно отличаются: от размеров, сравнимых с большой полуосью орбиты Юпитера (красные сверхгиганты), до размеров Земли (белые карлики) или даже до нескольких километров у нейтронных звезд (рис. 124).



Рис. 124. Размеры некоторых звезд в сравнении с размерами Земли (слева) и Солнца (справа)

### ! Главные выводы

1. Спектральная классификация звезд основана на оценках относительной интенсивности и вида спектральных линий.
2. Размеры звезд пропорциональны расстояниям до них и видимым угловым размерам.
3. Зная мощность излучения звезды (светимость), температуру звезды и температуру Солнца, можно определить ее размер (в радиусах Солнца).
4. Температура звезд определяется на основании законов Стефана—Больцмана и Вина.

### ? Контрольные вопросы и задания

1. Каким образом можно определить температуру звезды, используя законы Стефана—Больцмана и Вина?
2. По каким принципам производится спектральная классификация звезд?
3. Из каких химических элементов в основном состоят звезды?
4. Во сколько раз отличаются светимости двух звезд одинакового цвета, если радиус одной из них в 25 раз больше?
5. Определите размеры звезды Спика ( $\alpha$  Девы), если температура ее фотосферы равна 22 400 К, а светимость в 13 400 раз больше светимости Солнца.
6. Определите светимость звезды  $\alpha$  Лиры, если ее годичный параллакс равен  $0,129''$ , а видимая звездная величина составляет  $0^m,03$ .
7. Определите расстояние, светимость и размеры звезды Регул ( $\alpha$  Льва), если из наблюдений известно, что у нее годичный параллакс равен  $0,040''$ , видимая звездная величина  $1^m,35$  и температура фотосферы 13 600 К.

## § 24. Двойные звезды. Масса звезд

**1. Типы двойных звезд.** Наблюдения показывают, что многие звезды во Вселенной образуют пары или являются членами сложных систем. **Двойными звездами** называют пары близко расположенных звезд. Различают оптические и физические двойные звезды. **Оптические двойные звезды** (пары) состояются из весьма отдаленных друг от друга в пространстве звезд, которые случайным образом проецируются на небесную сферу по лучу зрения. **Физические двойные звезды** представляют собой системы близко расположенных в пространстве звезд, связанных силами тяготения и обращающихся около общего центра масс.