

### ! 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.

Звезды физических двойных пар часто имеют различные цвета. Так, у Антареса — очень яркой красной звезды в созвездии Скорпиона — имеется слабый голубоватый спутник.

Первая известная еще в древности звездная пара — это Мицар (Конь) и Алькор (Всадник). Мицар — средняя звезда ручки «ковша» созвездия Большой Медведицы, которая имеет видимую звездную величину  $2^m,2$ . На угловом расстоянии  $12'$  от нее расположена слабая звезда Алькор со звездной величиной  $4^m,0$ . Звездная пара Мицар и Алькор — пример оптической двойной звезды. В свою очередь, даже в школьный телескоп хорошо видно: Мицар состоит из двух очень близких звезд, неразличимых невооруженным глазом. Компоненты звездной пары Мицар А и Мицар В отстоят друг от друга на расстоянии  $14''$  и имеют звездные величины  $2^m,4$  и  $4^m,0$  соответственно. Звездная пара Мицар — пример физической двойной звезды.

Физические двойные звезды в зависимости от способа их наблюдений подразделяются на **визуально-двойные звезды** (их компоненты можно увидеть при помощи телескопа визуально или сфотографировать), **затменно-двойные звезды** (их компоненты периодически загораживают друг друга от наблюдателя, поэтому звезда меняет блеск), **спектрально-двойные звезды** (двойственность проявляется в периодических смещениях или раздвоениях линий их спектров), **астрометрически-двойные звезды** (одна звезда не видна и возмущает правильное движение соседней).

Двойные звезды являются частным случаем **кратных звезд**, состоящих иногда из нескольких компонентов. Существуют звезды тройные, четверные и даже более высокой кратности. К кратным звездам принято причислять звезды, имеющие менее 10 компонентов. Системы с большим числом звезд называются **звездными скоплениями**.

Первый список двойных звезд составил в 1803 г. английский астроном Уильям Гершель. Этот перечень содержал несколько сотен объектов. К настоящему времени известно, что примерно половина звезд нашей Галактики — двойные. Двойственность и кратность в звездном мире — широко распространенное явление.

**2. Затменно-двойные звезды.** Затменно-двойные, или затменно-переменные, звезды представляют собой тесные пары, обращающиеся с периодом от нескольких часов до нескольких суток по орбитам, большая полуось которых сравнима с самими звездами. По этой причине мы не можем увидеть отдельно их компоненты, так как угловое расстояние между звездами очень мало. Судить о двойственности системы можно лишь по периодическим колебаниям блеска, если по лучу зрения плоскости орбит звезд практически совпадают. В этом случае наблюдаются затмения, когда один из компонентов проходит



Рис. 125. Изменение блеска затменно-двойной звезды

вперед или сзади другого. Рассмотренную ситуацию поясняет рисунок 125, на котором приводится кривая изменения блеска  $m$  затменно-двойной звезды, связанного с периодическими затмениями одного компонента другим. На графике показаны разные положения компонентов звезды на орбите. Разность звездных

величин в минимуме и максимуме блеска называется **амплитудой**, а промежуток времени между двумя последовательными наименьшими минимумами — **периодом переменности**.

Типичный пример затменно-двойной звезды — звезда  $\beta$  Персея (Алголь), которая регулярно затмевается на 9,6 ч с периодом 2,867 суток. Падение блеска в минимуме у этой звезды составляет  $2^m,3$ .

Всего известно около 5000 затменно-двойных звезд.

**3. Спектрально-двойные звезды.** Звезды, двойственность которых устанавливается лишь на основании спектральных наблюдений, называются **спектрально-двойными**.

Предположим, что наблюдатель находится в плоскости орбиты двойной системы, состоящей из более массивной и яркой звезды  $A$  и менее яркой и массивной звезды  $B$  (рис. 126). Каждый из компонентов —  $A$  и  $B$ , обращаясь вокруг центра масс системы, то приближается к наблюдателю, то удаляется от него. Вслед-

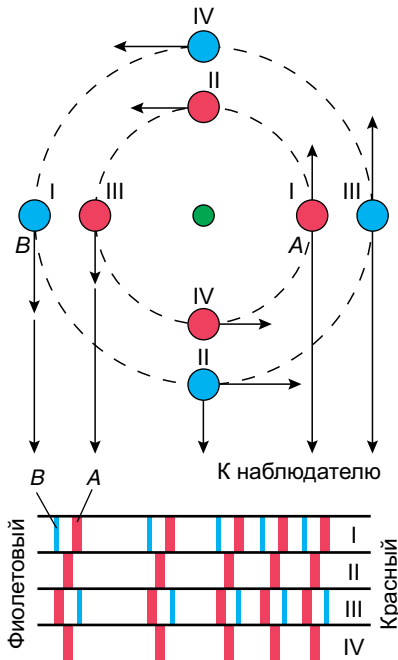


Рис. 126. Смещение линий в спектре двойной звезды

ствие эффекта Доплера в первом случае линии в спектре звезды будут сдвинуты к фиолетовой области спектра, во втором — к красной, причем период этих смещений равен периоду обращения. На рисунке римские цифры обозначают соответствие спектров положениям звезд на орбитах.

Постоянное совершенствование методики определения сдвига спектральных линий позволило в 1995 г. обнаружить у звезды 51 Пегаса спутник массой в половину массы Юпитера.

В настоящий момент разными методами в других звездных системах достоверно обнаружено более 4500 планет. Они получили общее название — **экзопланеты**. Их количество постоянно растет, но особый интерес представляют землеподобные объекты.

**4. Астрометрически-двойные звезды.** Встречаются такие тесные звездные пары, в которых одна из звезд или очень мала по размерам, или имеет низкую светимость. Таковую звезду рассмотреть не удастся, но обнаружить двойственность все же можно. Яркий компонент будет периодически отклоняться от прямолинейной траектории то в одну, то в другую сторону (рис. 127), как будто по прямой движется центр масс системы. Такие возмущения пропорциональны массе спутника.

Исследования одной из ближайших к нам звезд, известной под названием Росс 614 (ее блеск  $11^m,4$  и параллакс  $0,25''$ ), показали, что амплитуда отклонений звезды от ожидаемого направления достигает  $0,36''$ . Период обращения звезды относительно центра масс равен 16,5 года.

Среди близких к Солнцу звезд обнаружено около 20 астрометрически-двойных звезд.

**5. Масса звезд.** Длительные наблюдения визуально-двойных звезд убедили астрономов, что относительное видимое движение компонентов совершается по эллипсу и удовлетворяет закону площадей. Из этого следует, что в двойных системах обращения звезд происходят в соответствии с законами Кеплера и подчиняются закону всемирного тяготения Ньютона.

По данным наблюдений двойных звезд получены оценки масс для звезд различных типов. Анализ этих данных привел к следующим результатам.

1. Массы звезд заключены в пределах от 0,03 до 60 масс Солнца. Наибольшее количество звезд имеют от 0,4 до 3 масс Солнца.

2. Существующая зависимость между массами звезд и их светимостью дает возможность оценивать массы одиночных звезд

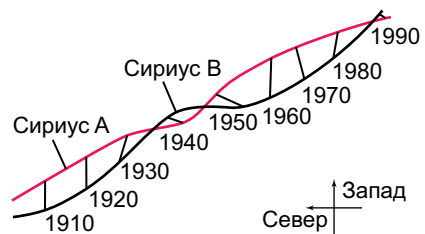


Рис. 127. Отклонение в движении Сириуса, вызванное гравитационным возмущением спутника

по их светимостям. В интервале масс  $0,5M_{\odot} \leq M \leq 10M_{\odot}$  светимость звезды пропорциональна четвертой степени ее массы  $L \approx M^4$ . При  $M > 10M_{\odot}$  показатель степени равен 2, т. е.  $L \approx M^2$ .

3. Масса звезды в момент ее формирования является важнейшим параметром, определяющим ее последующую эволюцию.

4. Радиусы звезд имеют весьма широкие пределы, поэтому средняя плотность звезд колеблется от  $5 \cdot 10^{-2}$  до  $3 \cdot 10^8$  кг/м<sup>3</sup> (сравните с Солнцем —  $1,4 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>).



### Главные выводы

1. Две звезды, выделяющиеся на фоне других близостью своих видимых положений, называются двойной звездой. Двойные звезды являются частным случаем кратных звезд.
2. Физические двойные звезды — система двух звезд, связанных силами тяготения и обращающихся около общего центра масс.
3. В зависимости от метода наблюдения двойные звезды подразделяются на визуально-двойные, затменно-двойные, спектрально-двойные, астрометрически-двойные.
4. Компоненты физических двойных звезд совершают видимое относительное движение по эллипсу в соответствии с законами Кеплера и подчиняются закону всемирного тяготения.
5. Изучение двойных звезд позволяет определять массы звезд.



### Контрольные вопросы и задания

1. Какие звезды называются двойными? Приведите их классификацию.
2. Что такое амплитуда и период переменности затменно-двойных звезд?
3. Дайте объяснение: почему происходит смещение линий в спектрах спектрально-двойных звезд?

## § 25. Эволюция звезд

**1. Диаграмма «спектр—светимость».** Существует зависимость между основными физическими характеристиками звезд. На основе наблюдений определяются спектральные классы звезд, а по известному расстоянию — абсолютные звездные величины, или светимости звезд.