

Параграфы 22, 23

§ 22. РАССТОЯНИЯ ДО ЗВЕЗД.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗЛУЧЕНИЯ ЗВЕЗД

Наше Солнце справедливо называют типичной звездой, но среди огромного многообразия мира звезд есть немало таких, которые значительно отличаются от него по физическим характеристикам. Поэтому более полное представление о звездах дает такое определение:

звезда — это пространственно обособленная гравитационно связанная непрозрачная для излучения масса вещества, в которой в значительных масштабах происходили, происходят или будут происходить термоядерные реакции превращения водорода в гелий.

Солнце существует уже несколько миллиардов лет и мало изменилось за это время, поскольку в его недрах все еще происходят термоядерные реакции, в результате которых из четырех протонов (ядер водорода) образуется альфа-частица (ядро гелия, состоящее из двух протонов и двух нейтронов). Более массивные звезды расходуют запасы водорода значительно

быстрее (за десятки миллионов лет). После того как водород израсходован, начинаются реакции между ядрами гелия с образованием устойчивого изотопа углерод-12 и другие реакции, продуктами которых являются кислород и тяжелые элементы (натрий, сера, магний и т. д.). Таким образом в недрах звезд образуются ядра многих химических элементов, вплоть до железа.

У наиболее массивных звезд прекращение всех возможных термоядерных реакций сопровождается мощным взрывом, который наблюдается как вспышка сверхновой звезды.

Все элементы, которые входят в состав нашей планеты и всего живого на ней, образовались в результате термоядерных реакций, происходивших в звездах, поэтому звезды не только самые распространенные во Вселенной объекты, но и самые важные для понимания происходящих в ней явлений и процессов.

1. Годичный параллакс и расстояния до звезд

Мысли о том, что звезды — это далекие солнца, высказывались еще в глубокой древности. Однако долгое время оставалось неясным, как далеко они находятся от Земли. Еще Аристотель понимал, что если Земля движется, то, наблюдая положение какой-либо звезды из двух диаметрально противоположных точек земной орбиты, можно заметить, что направление на звезду изменится (рис. 5.12). Это кажущееся (параллактическое) смещение звезды будет служить мерой расстояния до нее: чем оно больше, тем ближе к нам расположена звезда. Но не только самому Аристотелю, но даже значительно позднее Копернику не удалось обнаружить это смещение. Только в конце первой половины XIX в., когда телескопы были оборудованы приспособлениями для точных угловых измерений, удалось измерить такое смещение у ближайших звезд.

Годичным параллаксом звезды p называют угол, под которым со звезды можно было бы видеть большую полуось земной орбиты (равную 1 а. е.), перпендикулярную направлению на звезду (рис. 5.13).



Рис. 5.12. Параллактическое смещение звезды

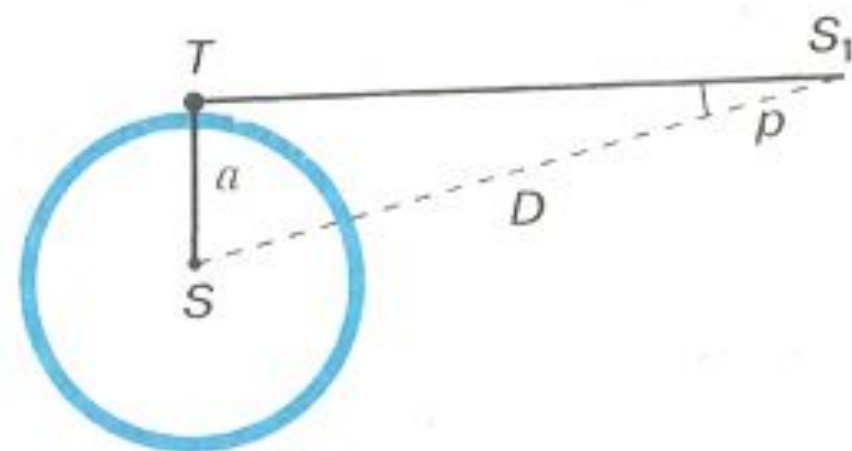


Рис. 5.13. Годичный параллакс звезды

Расстояние до звезды

$$D = \frac{a}{\sin p},$$

где a — большая полуось земной орбиты. Заменяв синус малого угла величиной самого угла, выраженной в радианной мере, и приняв $a = 1$ а. е., получим следующую формулу для вычисления расстояния до звезды в астрономических единицах:

$$D = \frac{206\,265''}{p}.$$

В 1837 г. впервые были осуществлены надежные измерения годового параллакса. Русский астроном *Василий Яковлевич Струве* (1793—1864) провел эти измерения для ярчайшей звезды Северного полушария Веги (α Лирь). Почти одновременно в других странах определили параллаксы еще двух звезд, одной из которых была α Центавра. Эта звезда, которая с территории России не видна, оказалась ближайшей к нам. Даже у нее годичный параллакс составил всего $0,75''$. Под таким углом невооруженному глазу видна проволочка толщиной 1 мм с расстояния 280 м. Поэтому неудивительно, что столь малые угловые смещения так долго не могли заметить.

Расстояние до ближайшей звезды, параллакс которой $p = 0,75''$, составляет $D = \frac{206\,265''}{0,75''} = 270\,000$ а. е. Единицами для измерения столь значительных расстояний являются парсек и световой год.

Парсек — это такое расстояние, на котором параллакс звезд равен $1''$. Отсюда и название этой единицы: пар — от слова «параллакс», сек — от слова «секунда». Расстояние в парсеках равно обратной величине годового параллакса. Например, поскольку параллакс α Центавра равен $0,75''$, расстояние до нее равно $1,3$ парсека.

Световой год — это такое расстояние, которое свет, распространяясь со скоростью $300\,000$ км/с, проходит за год. От ближайшей звезды свет идет до Земли свыше четырех лет, тогда как от Солнца около восьми минут, а от Луны немногим более одной секунды.

1 пк (парсек) = $3,26$ светового года = $206\,265$ а. е. = $3 \cdot 10^{13}$ км.

К настоящему времени с помощью специального спутника «Гиппаркос» измерены годовые параллаксы более 118 тыс. звезд с точностью 0,001".

Таким образом, теперь измерением годового параллакса можно надежно определить расстояния до звезд, удаленных от нас на 1000 пк, или 3000 св. лет. Расстояния до более далеких звезд определяются другими методами.

2. Видимая и абсолютная звездные величины. Светимость звезд

После того как астрономы получили возможность определять расстояния до звезд, выяснилось, что звезды, находящиеся на одинаковом расстоянии, могут отличаться по видимой яркости. Стало очевидно, что звезды имеют различную *светимость*. Солнце кажется самым ярким объектом на небе только потому, что оно находится гораздо ближе всех остальных звезд.

Светимостью называется полная энергия, излучаемая звездой в единицу времени.

Она выражается в абсолютных единицах (ваттах) или в единицах светимости Солнца.

В астрономии принято сравнивать звезды по светимости, рассчитывая их видимую яркость (звездную величину) для одного и того же стандартного расстояния — 10 пк.

Видимая звездная величина, которую имела бы звезда, если бы находилась от нас на расстоянии $D_0 = 10$ пк, получила название абсолютной звездной величины M .

Рассмотрим, как можно определить абсолютную звездную величину M , зная расстояние до звезды D (или параллакс — p) и ее видимую звездную величину m . Напомним, что яркость двух источников, звездные величины которых отличаются на единицу, отличается в 2,512 раза. Для звезд, звездные величины которых равны m_1 и m_2 (соответственно), отношение их яркостей I_1 и I_2 выражается соотношением:

$$I_1 : I_2 = 2,512^{m_2 - m_1}.$$

Для видимой и абсолютной звездных величин одной и той же звезды отношение яркостей будет выглядеть так:

$$I : I_0 = 2,512^{M-m},$$

где I_0 — яркость этой звезды, если бы она находилась на расстоянии $D_0 = 10$ пк.

В то же время известно, что видимая яркость звезды меняется обратно пропорционально квадрату расстояния до нее. Поэтому

$$I : I_0 = D_0^2 : D^2.$$

Следовательно,

$$2,512^{M-m} = D_0^2 : D^2.$$

Логарифмируя это выражение, находим

$$0,4(M-m) = \lg 10^2 - \lg D^2,$$

или

$$M = m + 5 - 5 \lg D,$$

или

$$M = m + 5 + \lg p.$$

Абсолютная звездная величина Солнца $M_{\odot} = 5^m$. Иначе говоря, с расстояния 10 пк наше Солнце выглядело бы как звезда пятой звездной величины.

Зная абсолютную звездную величину звезды M , легко вычислить ее светимость L . Считая светимость Солнца $L_{\odot} = 1$, получаем:

$$L = 2,512^{5-M},$$

или

$$\lg L = 0,4(5 - M).$$

По светимости (мощности излучения) звезды значительно отличаются друг от друга: некоторые излучают энергию в несколько миллионов раз больше, чем Солнце, другие — в сотни тысяч раз меньше. Абсолютные звездные величины звезд наиболее высокой светимости (гигантов и сверхгигантов) достигают $M = -9^m$, а звезды-карлики, обладающие наименьшей светимостью, имеют абсолютную звездную величину $M = +17^m$.

3. Спектры, цвет и температура звезд

Всю информацию о звездах можно получить только на основе исследования приходящего от них излучения. Наблюдая звезды, можно заметить, что они имеют различный цвет. Хорошо известно, что цвет любого нагретого тела, в частности звезды, зависит от его температуры. Более полное представление об этой зависимости дает изучение звездных спектров. Для большинства звезд это спектры поглощения, в которых на фоне непрерывного спектра наблюдаются темные линии.

Температуру наружных слоев звезды, от которых приходит излучение, определяют по распределению энергии в непрерывном спектре (рис. 5.14). Длина волны, на которую приходится максимум излучения, зависит от температуры излучающего тела. По мере увеличения температуры положение максимума смещается от красного к фиолетовому концу спектра. Количественно эта зависимость выражается законом Вина:

$$\lambda_{\max} = \frac{0,29}{T},$$

где λ_{\max} — длина волны (в см), на которую приходится максимум излучения, а T — абсолютная температура.

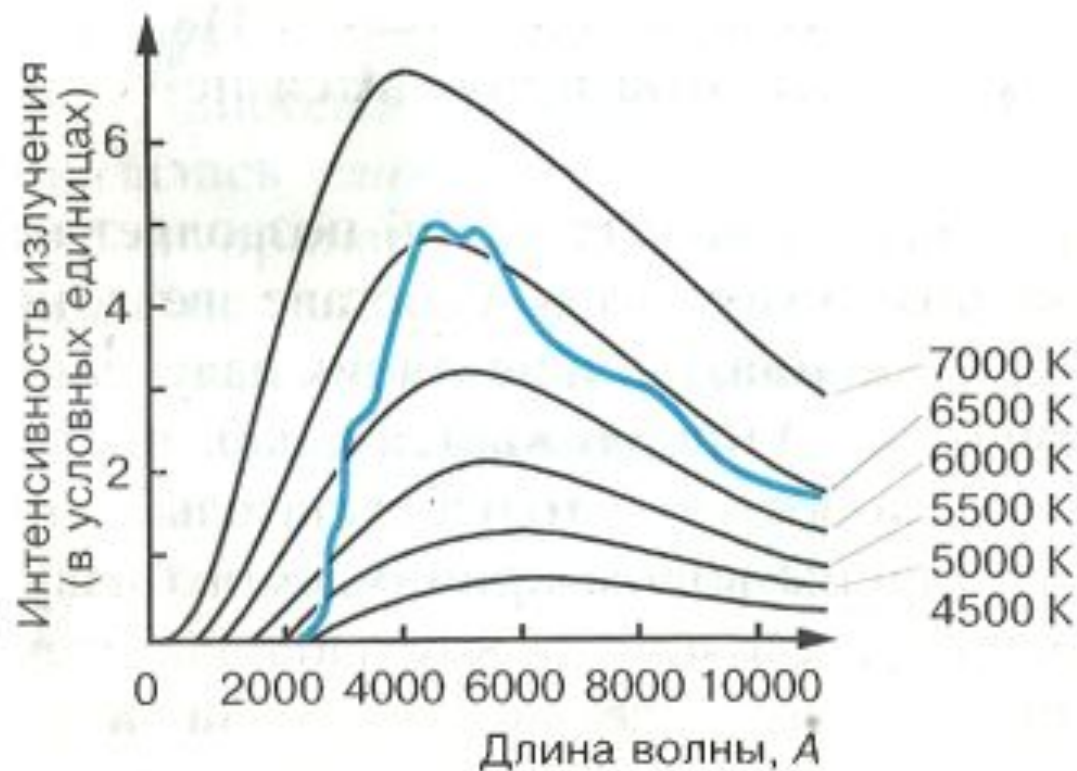


Рис. 5.14. Распределение энергии в непрерывном спектре Солнца и черного тела при различных температурах

Как оказалось, эта температура для различных типов звезд заключена в пределах от 2500 до 50 000 К. Изменение температуры меняет состояние атомов и молекул в атмосферах звезд, что отражается в их спектрах. По ряду характерных особенностей спектров звезды разделены на спектральные классы, которые обозначены латинскими буквами и расположены в порядке, соответствующем убыванию температуры: O, B, A, F, G, K, M.

У наиболее холодных (красных) звезд класса M в спектрах наблюдаются линии поглощения некоторых двухатомных молекул (например, оксидов титана, циркония и углерода). Примерами звезд, температура которых около 3000 К, являются Антарес и Бетельгейзе.

В спектрах желтых звезд класса G с температурой около 6000 К, к которым относится и Солнце, преобладают линии металлов: железа, натрия, кальция и т. д. По температуре, спектру и цвету сходна с Солнцем звезда Капелла.

Для спектров белых звезд класса А, которые имеют температуру около 10 000 К (Вега, Денеб и Сириус), наиболее характерны линии водорода и множество слабых линий ионизованных металлов. В спектрах наиболее горячих звезд появляются линии нейтрального и ионизованного гелия.

Различия звездных спектров объясняются отнюдь не разнообразием их химического состава, а различием температуры и других физических условий в атмосферах звезд. Изучение спектров показывает, что преобладают в составе звездных атмосфер (и звезд в целом) водород и гелий. На долю всех остальных химических элементов приходится не более нескольких процентов.

Измерение положения спектральных линий позволяет не только получить информацию о химическом составе звезд, но и определить скорость их движения. Если источник излучения (звезда или любой другой объект) приближается к наблюдателю или удаляется от него со скоростью v , то наблюдатель будет регистрировать изменение длины волны принимаемого излучения. В случае уменьшения расстояния между наблюдателем и звездой длина волны уменьшается и соответствующая линия смещается к сине-фиолетовому концу спектра. При удалении

звезды длина волны излучения увеличивается, а линия смещается в красную его часть. Это явление получило название *эффекта Доплера*, согласно которому зависимость разности длин волн от скорости источника по лучу зрения v и скорости света c выражается следующей формулой:

$$\frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{v}{c},$$

где λ_0 — длина волны спектральной линии для неподвижного источника, а λ — длина волны в спектре движущегося источника.

Эффект Доплера наблюдается в оптической и других областях спектра и широко используется в астрономии.

4. Диаграмма «спектр—светимость»

Полученные данные о светимости и спектрах звезд уже в начале XX в. были сопоставлены двумя астрономами — *Эйнар Герцшпрунгом* (Голландия) и *Генри Ресселлом* (США) — и представлены в виде диаграммы, которая получила название «диаграмма Герцшпрунга—Ресселла». Если по горизонтальной оси отложены спектральные классы (температура) звезд, а по вертикальной — их светимости (абсолютные звездные величины), то каждой звезде будет соответствовать определенная точка на этой диаграмме (рис. 5.15). В результате обнаруживается определенная закономерность в расположении звезд на диаграмме — они не заполняют все ее поле, а образуют несколько групп, названных *последовательностями*. Наиболее многочисленной (примерно 90% всех звезд) оказалась *главная последовательность*, к числу звезд которой принадлежит наше Солнце (его положение отмечено на диаграмме кружочком). Звезды этой последовательности отличаются друг от друга по светимости и температуре и взаимосвязь этих характеристик соблюдается весьма строго: *самую высокую светимость имеют наиболее горячие звезды, а по мере уменьшения температуры светимость падает*. Красные звезды малой светимости получили название *красных карликов*. Вместе с тем на диаграмме существуют и другие последовательности, где подобная

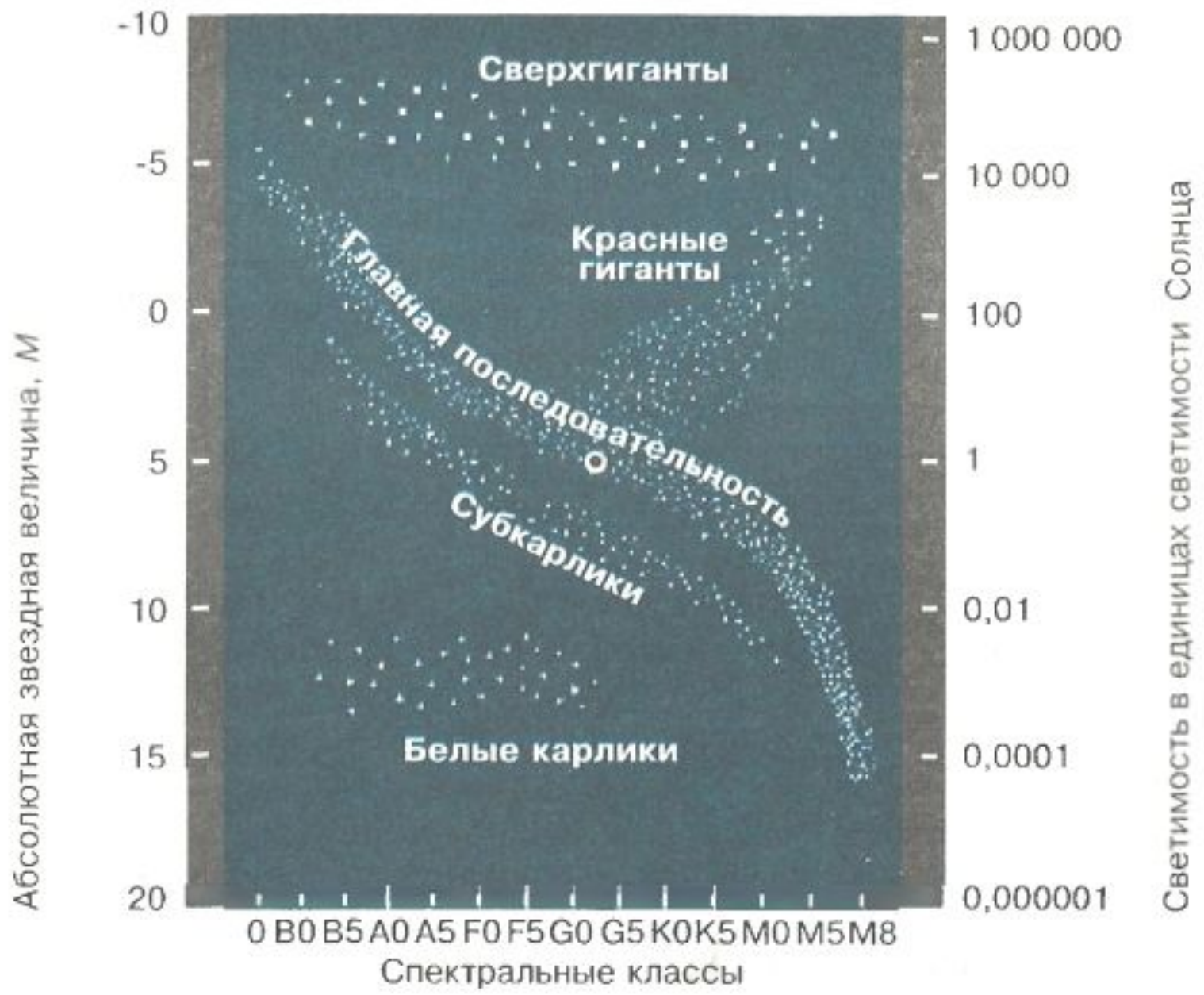


Рис. 5.15. Диаграмма «спектр — светимость»

закономерность не соблюдается. Особенно заметно это среди более холодных (красных) звезд: помимо звезд, принадлежащих главной последовательности и потому имеющих малую светимость, на диаграмме представлены звезды высокой светимости, которая практически не меняется при изменении их температуры. Такие звезды принадлежат двум последовательностям (*гиганты* и *сверхгиганты*), получившим эти названия вследствие своей светимости, которая значительно превосходит светимость Солнца. Особое место на диаграмме занимают горячие звезды малой светимости — *белые карлики*.

Лишь к концу XX в., когда объем знаний о физических процессах, происходящих в звездах, существенно увеличился и стали понятными пути их эволюции, удалось найти теоретическое обоснование тем эмпирическим закономерностям, которые отражает диаграмма «спектр — светимость».

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Какова светимость звезды ξ Скорпиона, если ее звездная величина 3^m , а расстояние до нее 7500 св. лет?

Дано:

$$m = 3^m$$

$$D = 7500 \text{ св. лет}$$

L — ?

Решение:

$$\lg L = 0,4(5 - M).$$

$$M = m + 5 - 5 \lg D,$$

$$\text{где } D = 7500 : 3,26 = 2300 \text{ пк.}$$

$$\text{Тогда } M = 3 + 5 - 5 \lg 2300 = -8,8.$$

$$\lg L = 0,4[5 - (-8,8)] = 5,52.$$

Отсюда $L = 330\,000$.

Ответ: $L = 330\,000$.



ВОПРОСЫ

1. Как определяют расстояния до звезд? 2. От чего зависит цвет звезды? 3. В чем главная причина различия спектров звезд? 4. От чего зависит светимость звезды?



УПРАЖНЕНИЕ 18

1. Во сколько раз Сириус ярче, чем Альдебаран? Солнце ярче, чем Сириус? 2. Одна звезда ярче другой в 16 раз. Чему равна разность их звездных величин? 3. Параллакс Веги $0,11''$. Сколько времени идет свет от нее до Земли? 4. Сколько лет надо было бы лететь по направлению к созвездию Лирь со скоростью 30 км/с, чтобы Вега стала вдвое ближе? 5. Во сколько раз звезда $3,4$ звездной величины слабее, чем Сириус, имеющий звездную величину $-1,6$? Чему равны абсолютные величины этих звезд, если расстояние до каждой составляет 3 пк?

§ 23. МАССЫ И РАЗМЕРЫ ЗВЕЗД

1. Двойные звезды. Определение массы звезд

Среди звезд, которые видны на небе рядом, различают *оптические двойные* и *физические двойные* звезды. В первом случае такие две звезды хотя и видны вблизи, но находятся в пространстве далеко друг от друга. Если же в результате

наблюдений выясняется, что они образуют единую систему и обращаются вокруг общего центра масс под действием взаимного тяготения, то их называют *физическими двойными звездами*.

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. Выяснилось, что α 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.

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. Сравнивая движение спутника звезды с движением Земли вокруг Солнца, можно написать:

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

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. 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:

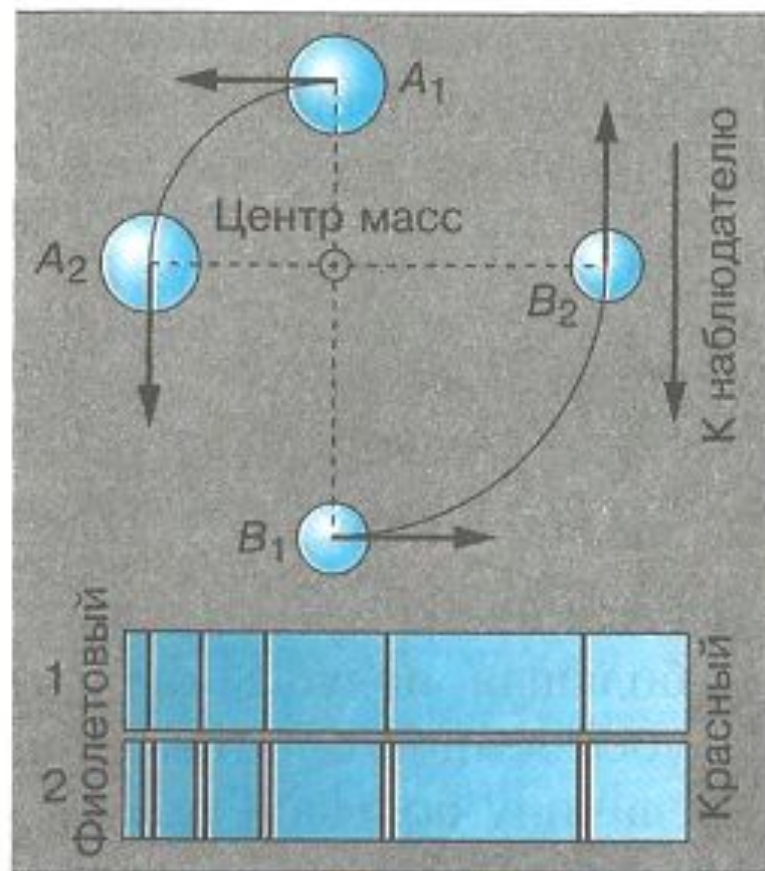
$$m_1 + m_2 = A^3 : T_1^2.$$

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:

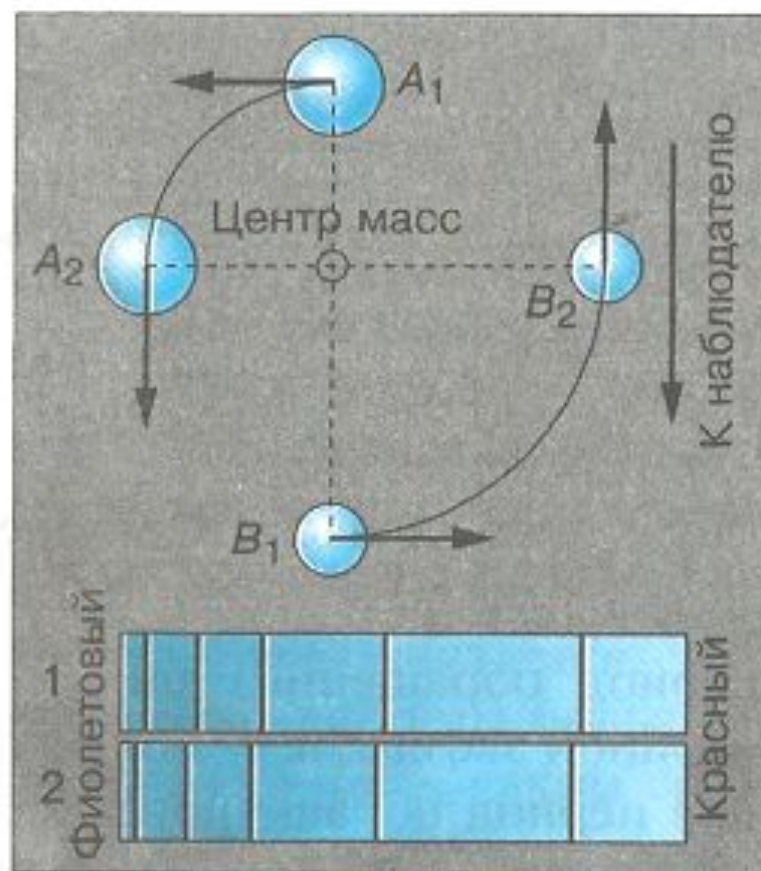
$$m_1 : m_2 = A_2 : A_1.$$

Решая систему двух уравнений, можно вычислить массу каждой 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, *a*). 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



а)



б)

Рис. 5.16. Раздвоение линий в спектре двойной звезды

.....

слаба, что ее линии не видны, то будет наблюдаться периодическое смещение линий более яркой звезды (рис. 5.16, б).

Для наблюдателя, который находится в плоскости орбиты спектрально-двойной звезды, ее компоненты будут поочередно загорать, «затмевать» друг друга. Такие звезды называют *затменно-двойными* или алголями — по названию наиболее известной звезды этого типа β 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).

В настоящее время известно более 5 тыс. затменно-двойных звезд. Их изучение позволяет определить не только характеристики орбиты, но также получить некоторые сведения о самих звездах. Продолжительность затмения дает возможность судить о размерах звезды. Рекордсменом здесь является ϵ Возничего, в системе которой при периоде 27 лет затмение продолжается 2 года. Когда во время затмения свет одной звезды проходит через атмосферу другой, можно детально исследовать строение и состав этой атмосферы. Фор-

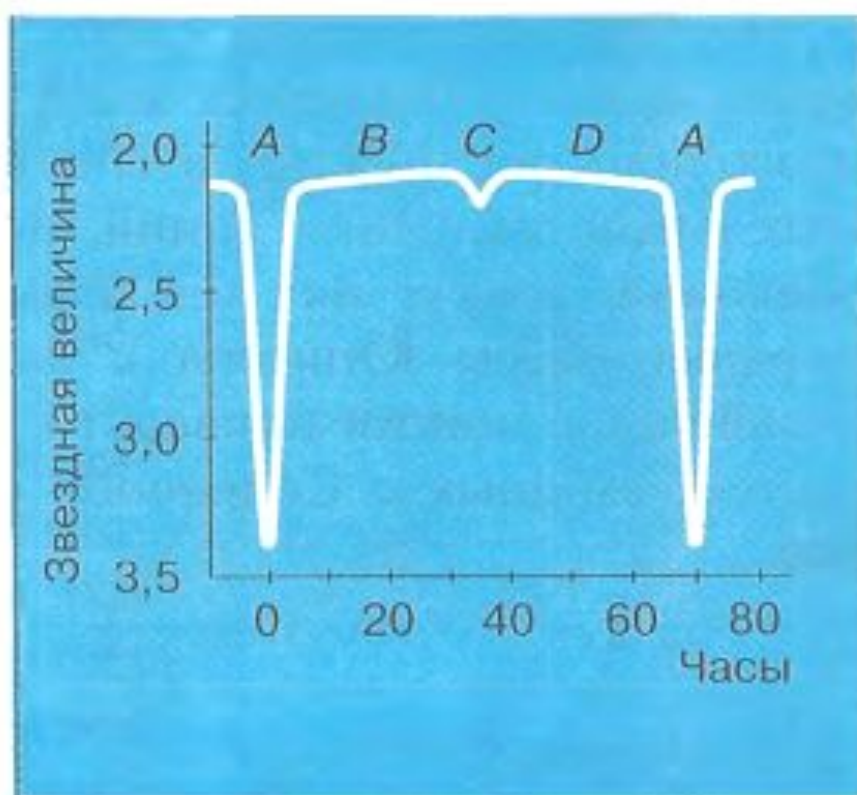
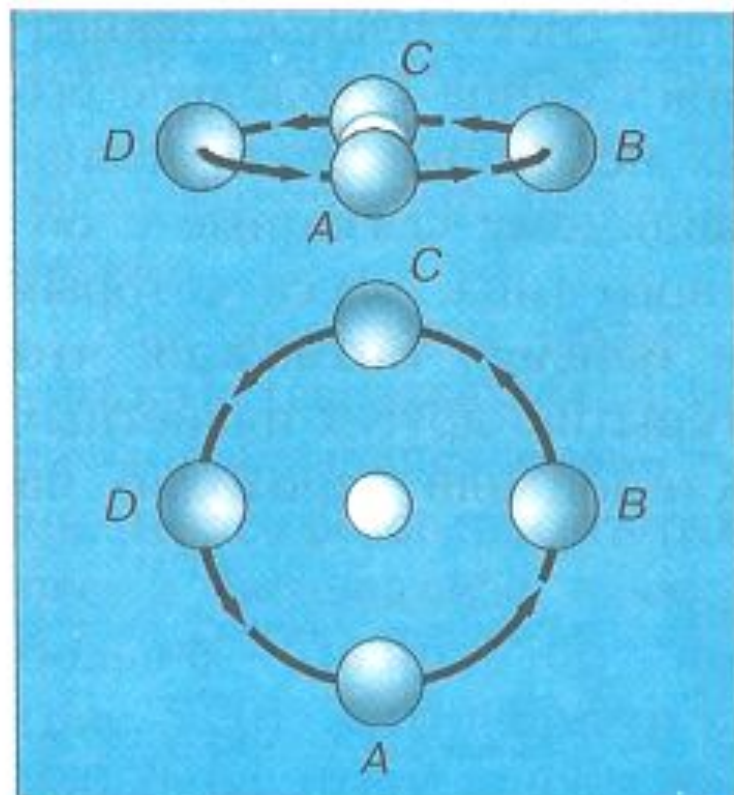


Рис. 5.17. Схема затмений и кривая блеска Алголя

.....

ма 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.

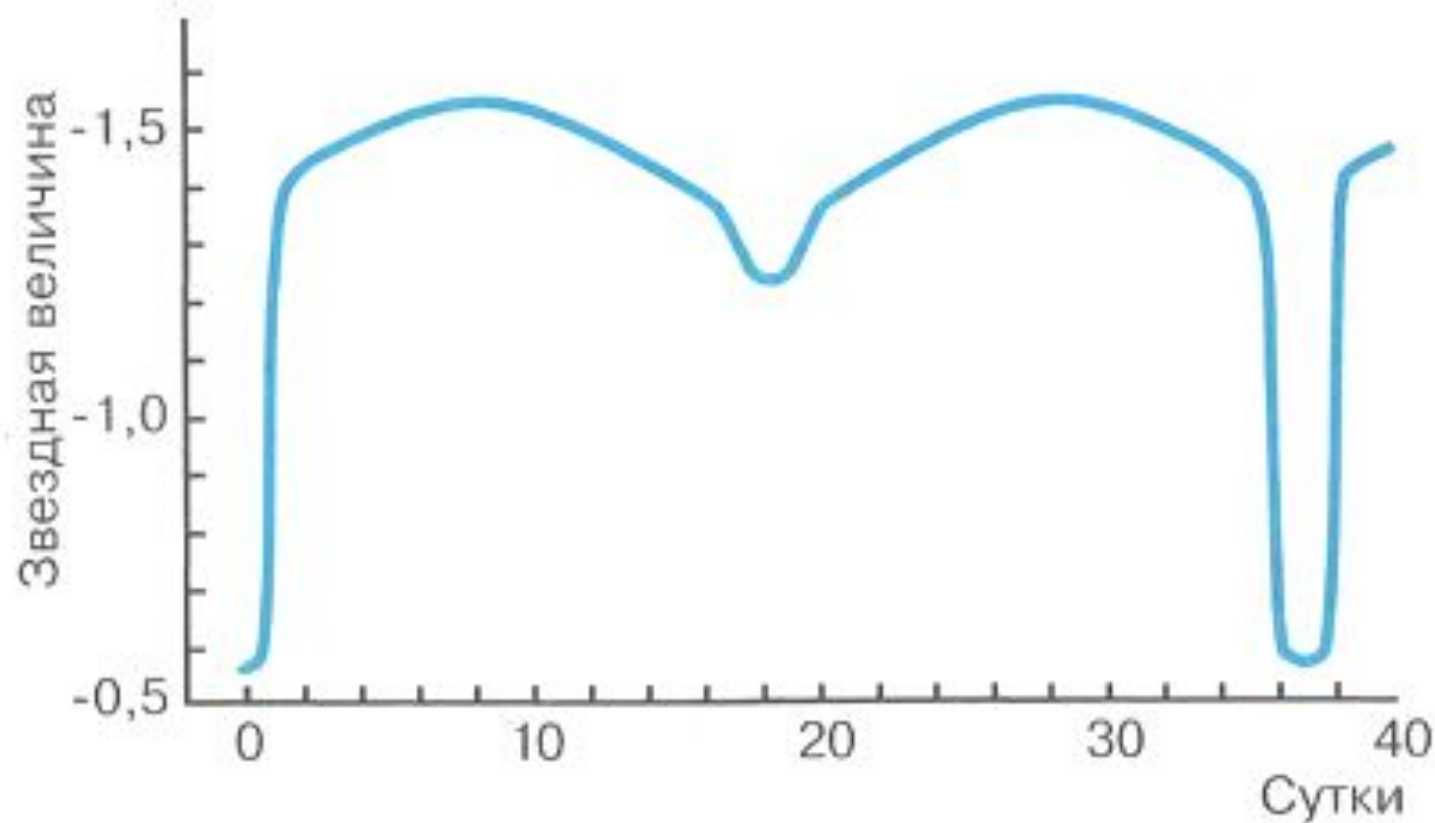


Рис. 5.18. Кривая блеска не-сферической двойной звезды

В последние годы тщательные спектральные наблюдения более 100 близких звезд типа Солнца и холоднее его позволили обнаружить в спектрах некоторых звезд незначительные смещения линий, по-видимому связанные с обращением вокруг них тел планетного типа, масса которых порядка массы Юпитера и даже меньше. Возможно, что дальнейшие поиски приведут к открытию других планетных систем, сходных с Солнечной системой или непохожих на нее.

2. 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).

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:

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

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

Отношение светимостей звезды и Солнца будет равно:

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

Приняв, что $R_{\odot} = 1$ и $L_{\odot} = 1$, получаем выражение для вычисления радиуса звезды (в радиусах Солнца)

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

Результаты этих вычислений достаточно хорошо согласуются с

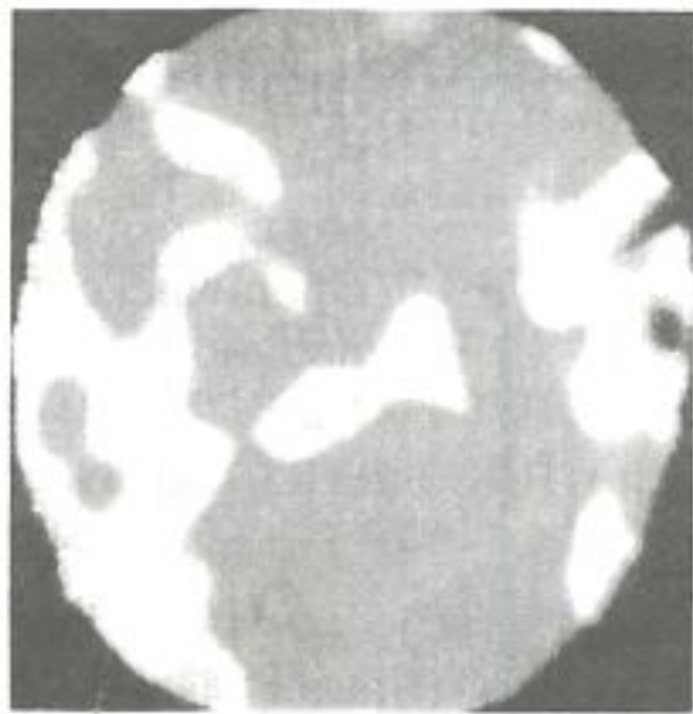


Рис. 5.19. Пятна на диске Бетельгейзе

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). 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).



Рис. 5.20. Солнце в сравнении с гигантами и сверхгигантами

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/м³, что в 1000 раз меньше плотности воздуха при нормальных условиях. Другой крайностью является плотность белых карликов — около 10^9 кг/м³.



Рис. 5.21. Размеры звезд-карликов

3. Модели звезд

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,

**Звезды
главной последовательности**



Солнце



Белый карлик



Рис. 5.22. Внутреннее строение звезд различных классов

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*.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

1. Период обращения двойной звезды 100 лет. Большая полуось видимой орбиты $a = 2,0''$, а параллакс $p = 0,05''$. Определите сумму масс и массы звезд в отдельности, если они отстоят от центра масс на расстояниях, относящихся как 1 : 4.

Дано:

$$T = 100 \text{ лет}$$

$$a = 2,0''$$

$$p = 0,05''$$

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{1}{4}$$

$$m_1 = ?$$

$$m_2 = ?$$

Решение:

так как $A_1 : A_2 = m_2 : m_1$, то $\frac{m_2}{m_1} = \frac{1}{4}$ и

$$m_1 = 4m_2.$$

По третьему закону Кеплера

$$m_1 + m_2 = A^3 : T^2 \text{ или } 4m_2 + m_2 = A^3 : T^2,$$

$$\text{т. е. } 5m_2 = A^3 : T^2.$$

$$A = \frac{a}{p},$$

$$A = \frac{2,0''}{0,05''} = 40 \text{ а. е.};$$

$$m_2 = \frac{40^3}{5 \cdot 100^2} = 1,28; m_1 = 4 \cdot 1,28 = 5,12.$$

Ответ: $m_1 = 5,12$ массы Солнца, $m_2 = 1,28$ массы Солнца.

2. Во сколько раз Арктур больше Солнца, если светимость Арктура равна 100, а температура 4500 К?

Дано:

$$L = 100$$

$$T = 4500 \text{ К}$$

$$T_{\odot} = 6000 \text{ К}$$

$$L_{\odot} = 1$$

$$\frac{R}{R_{\odot}} = ?$$

Решение:

$$\frac{R}{R_{\odot}} = \sqrt{L} \cdot \frac{T_{\odot}^2}{T^2} = 10 \cdot \frac{(6000 \text{ К})^2}{(4500 \text{ К})^2} = 18.$$

Ответ: радиус Арктура больше радиуса Солнца в 18 раз.



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 19

1. Определите сумму масс двойной звезды Канелла, 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?