



## Раздел VII

# Звезды

### § 22. Основные характеристики звезд. Светимость

**1. Видимая звездная величина.** При первоначальном знакомстве со звездным небом (§ 2) мы рассмотрели понятие «звездная величина» ( $m$ ). Вы уже знаете, что звезды 1-й звездной величины создают в 2,512 раза большую освещенность (отношение светового потока к площади, им освещаемой), чем звезды 2-й звездной величины, которые, в свою очередь, дают световые потоки в 2,512 раза больше, чем звезды 3-й звездной величины, и т. д. Таким образом, за интервал в одну **видимую звездную величину** (обозначается  $1^m$ ) принято отношение освещенностей ( $E$ ) в 2,512 раза. В виде формулы эти соотношения выразил Н. Погсон:

$$\frac{E_1}{E_2} = 2,512^{m_2 - m_1}. \quad (1)$$

Измеряя при помощи фотометра отношение блеска звезд, можно определить разность звездных величин по формуле Погсона. Нуль-пункт же выбирают условно, по соглашениям. При этом договорено, чтобы стандартная звезда 1-й звездной величины (средняя из 20 самых ярких звезд) давала бы в 100 раз больше света, чем звезда 6-й звездной величины, находящаяся на пределе зрения.

Видимая звездная величина Луны в полнолуние равна  $-12^m,7$ , а в фазе первой четверти составляет  $-9^m,0$ . По формуле (1) можем найти, что освещенность Луны в полнолуние ( $E_n$ ) больше освещенности Луны в фазе первой четверти ( $E_1$ ) в 30 раз:

$$\frac{E_n}{E_1} = 2,512^{m_1 - m_2} = 2,512^{-9+12,7} = 2,512^{3,7} \cong 30.$$

Видимую звездную величину Солнца определил Витольд Карлович Цераский. Она оказалась равной  $-26^m,8$ . Шкала звездных величин позволяет выражать

в звездных величинах блеск слабых светил, невидимых невооруженным глазом. В настоящее время крупнейшие телескопы с диаметром зеркал 8—10 м и современной приемной аппаратурой позволяют регистрировать объекты до 28-й звездной величины.

**2. Определение расстояний до звезд.** Ученые давно предполагали, что звезды имеют такую же физическую природу, как Солнце. Из-за колоссальных расстояний диски звезд не видны даже в сильные телескопы. Чтобы сравнивать звезды между собой и с Солнцем, необходимо найти методы определения расстояний до них. Основным методом является метод параллактического смещения звезд, рассмотренный нами ранее. Так как радиус Земли слишком мал по сравнению с расстоянием до звезд, необходимо выбрать больший базис для измерения параллактического смещения звезд. Еще Н. Коперник понимал, что, согласно его гелиоцентрической системе, близкие звезды на фоне далеких звезд должны описывать эллипсы в результате годового движения Земли вокруг Солнца.

Кажущееся перемещение более близкой звезды  $M$  на фоне очень далеких звезд происходит по эллипсу с периодом в 1 год и отражает движение наблюдателя вместе с Землей вокруг Солнца (рис. 122). Положение Земли на орбите и видимые с Земли положения звезды на небе прослеживаются на рисунке 122. Маленький эллипс, описываемый звездой, называется параллактическим эллипсом. В угловой мере большая полуось этого эллипса равна величине угла, под которым со звезды видна большая полуось земной орбиты, перпендикулярная направлению на звезду. Этот угол называется **годовым параллаксом** ( $\pi$ ). Параллактические смещения звезд служат неопровержимым доказательством обращения Земли вокруг Солнца.

Расстояния до звезд определяют по их годовому параллактическому смещению.

Из рисунка 122 видно, что если  $CT = a$  — средний радиус земной орбиты,  $CM = r$  — расстояние до звезды  $M$  от Солнца  $C$ , а угол  $\pi$  — годичный параллакс звезды, то

$$r = \frac{a}{\sin \pi}.$$

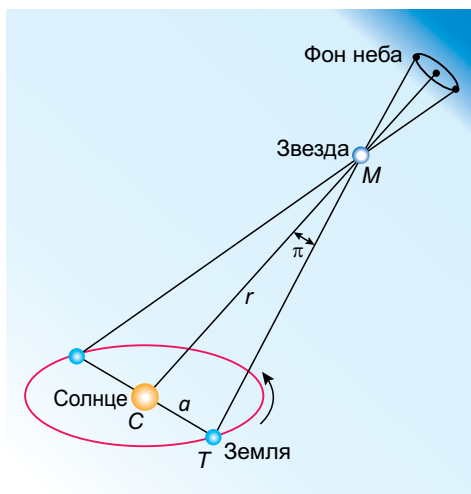


Рис. 122. Параллактическое смещение звезды на протяжении года:  $C$  — Солнце;  $M$  — звезда;  $a$  — полуось земной орбиты;  $\pi$  — годичный параллакс

Так как годовые параллаксы звезд оцениваются десятными долями секунды, а 1 радиан равен  $206\,265''$ , то расстояние до звезды можно определить из соотношения

$$r = \frac{206\,265''}{\pi''} \text{ а. е.} \quad (2)$$

Для измерения расстояний до звезд астрономическая единица слишком мала. Поэтому для удобства определения расстояний до звезд в астрономии применяется специальная единица длины — парсек (пк), название которой происходит от слов «параллакс» и «секунда». **Парсек** — это расстояние, с которого радиус земной орбиты был бы виден под углом в  $1''$  (рис. 123).

Согласно формуле (2)  $1 \text{ ПК} = 206\,265 \text{ а. е.} = 3,086 \cdot 10^{13} \text{ км}$ . Таким образом, расстояние до звезд в парсеках будет определяться выражением

$$r = \frac{1}{\pi''} \text{ ПК.} \quad (3)$$

В астрономических единицах обычно выражаются расстояния до тел Солнечной системы. Расстояния до небесных тел, находящихся за пределами Солнечной системы, обычно выражаются в парсеках, килопарсеках ( $1 \text{ кпк} = 10^3 \text{ ПК}$ ) и мегапарсеках ( $1 \text{ Мпк} = 10^6 \text{ ПК}$ ), а также в световых годах ( $1 \text{ св. г.} = 9,46 \cdot 10^{12} \text{ км} = 63\,240 \text{ а. е.} = 0,3067 \text{ ПК}$  или  $1 \text{ ПК} = 3,26 \text{ св. г.}$ ). **Световой год** — расстояние, которое электромагнитное излучение (в вакууме) проходит за 1 год.

Нижний предел измерений параллаксов не превышает  $0,005''$ , что позволяет определять расстояния не свыше 200 ПК. Расстояния до еще более далеких объектов определяются менее точно и иными методами.

**3. Абсолютная звездная величина.** Видимый блеск звезд не характеризует их реального излучения. Он определяется двумя факторами: истинным излучением звезды и расстоянием до нее. Солнце, например, гораздо ближе к Земле, чем любая другая звезда, поэтому оно — самое яркое светило на небе. Следовательно, для сравнения истинного блеска звезд необходимо вычислять их звездную величину на определенном одинаковом расстоянии. За такое одинаковое (или стандартное) расстояние принято 10 ПК. Видимая звездная величина, которую имела бы звезда, если бы находилась от нас на расстоянии 10 ПК, называется **абсолютной звездной величиной**.

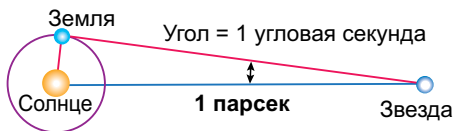


Рис. 123. Что такое парсек?

Пусть видимая звездная величина звезды на расстоянии  $r$  равна  $m$ , а освещенность (световой поток, падающий на еди-

ницу площади освещаемой поверхности), создаваемая этой звездой, —  $E$ . По определению, видимая звездная величина с расстояния  $r_0 = 10$  пк будет равна абсолютной звездной величине  $M$ , а  $E_0$  — освещенность (или излучение) звезды с расстояния 10 пк. Тогда, используя формулу (1), можем записать:

$$\frac{E}{E_0} = 2,512^{M-m}. \quad (4)$$

Из физики известно, что освещенности, создаваемые одним и тем же источником излучения, обратно пропорциональны квадратам расстояний до него, т. е.

$$\frac{E}{E_0} = \frac{r_0^2}{r^2}. \quad (5)$$

Подставив (5) в (4), получим, что  $2,512^{M-m} = \frac{100}{r^2}$ . Прологарифмировав данное равенство и упростив его, получим:

$$M = m + 5 - 5 \lg r. \quad (6)$$

Учитывая, что  $r = \frac{1}{\pi''}$ , формулу (6) можно записать в виде:

$$M = m + 5 + 5 \lg \pi''. \quad (7)$$

По формуле (6) вычислим абсолютную звездную величину Солнца. Расстояние до Солнца  $r = 1$  а. е. =  $\frac{1}{206\,265}$  пк; видимая звездная величина Солнца равна  $-26^m,8$ . После подстановки этих значений в формулу получим, что  $M_{\odot} = -26^m,8 + 5^m + 26^m,6 = 4^m,8$ . Это означает, что со стандартного расстояния в 10 пк Солнце выглядит слабой звездочкой почти 5-й звездной величины.

Абсолютные звездные величины звезд колеблются от  $-9^m$  до  $19^m$ , т. е. отличаются на  $28^m$ , или по освещенности в 160 миллиардов раз, друг от друга.

**4. Светимость звезд.** Зная абсолютную звездную величину звезды, можно вычислить действительное общее излучение звезды, или ее светимость. **Светимостью** называется полная энергия, излучаемая звездой за 1 с. Светимость звезды можно выразить в ваттах, но чаще ее выражают в светимостях Солнца. Напомним, что светимость Солнца равна  $3,85 \cdot 10^{26}$  Вт (см. § 19).

Используя формулу (1), можно записать соотношение между светимостями и абсолютными звездными величинами какой-либо звезды и Солнца:

$$\frac{L}{L_{\odot}} = 2,512^{M_{\odot}-M}, \quad (8)$$

где  $L$  и  $L_{\odot}$  — светимости звезды и Солнца;  $M$  и  $M_{\odot}$  — соответственно их абсолютные звездные величины. Если принять  $L_{\odot} = 1$  и с учетом того, что  $M_{\odot} = 4^m,8$ , формула (8) примет вид:

$$L = 2,512^{M_{\odot}-M} \quad \text{или} \quad L = 2,512^{4,8-M}.$$

Звезды-сверхгиганты, имеющие  $M = -9^m$ , обладают мощностью излучения больше Солнца в 330 тыс. раз, а самые неяркие звезды с абсолютной звездной величиной  $M = 19^m$  излучают свет в 480 тыс. раз слабее Солнца.



### Главные выводы

1. Звезды движутся в пространстве и находятся от нас на различных расстояниях.
2. Видимая звездная величина — мера наблюдаемого блеска (освещенности, создаваемой светилом на приемнике лучистой энергии) небесного объекта, видимого с Земли. Интервал в одну звездную величину соответствует разности освещенностей в 2,512 раза.
3. Расстояние до недалеких звезд определяется методом годичного параллакса, основанным на измерении угла, под которым виден радиус земной орбиты с исследуемой звездой.
4. Единицами измерения расстояний до звезд являются парсек и световой год.
5. Абсолютная звездная величина — видимая звездная величина, которую имела бы звезда, находясь на стандартном расстоянии 10 пк.
6. Полная энергия, излучаемая звездой по всем направлениям за единицу времени, называется ее светимостью. Обычно светимость звезды выражается в единицах светимости Солнца.



### Контрольные вопросы и задания

1. Что понимают под годичным параллаксом звезды?
2. Что такое парсек и световой год?
3. Чем отличается абсолютная звездная величина от видимой звездной величины?
4. Что понимают под светимостью звезды? Какова светимость Солнца?
5. Какая зависимость существует между светимостью звезды и ее абсолютной звездной величиной?
6. Расстояние до звезды Бетельгейзе 652 св. г. Чему равен ее параллакс?
7. Вычислите расстояние до звезды Веги в парсеках и световых годах, если известно, что ее видимая и абсолютная звездные величины соответственно равны  $0^m,0$  и  $0^m,5$ .

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.