

## ЗВЕЗДНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

Так как основная информация о небесных телах получается в оптическом и близком к нему диапазонах (ИК, УФ), остановимся на специфических единицах измерения потоков излучения на этих длинах волн ( $\lambda \sim 1000\text{--}10000\text{\AA}$ ), которые повсеместно используются в астрофизике.

Сделаем простые оценки характерных потоков излучения.

а) Поток энергии от Солнца. Боллометрическая светимость Солнца  $L_{\odot} \approx 4 \cdot 10^{33}$  эрг/с, расстояние до Земли 1 а. е.  $= 1.5 \cdot 10^{13}$  см, откуда полный поток электромагнитной энергии Солнца на Земле  $L_{\odot}/(4\pi R^2) \sim 10^6$  эрг/(см<sup>2</sup>·с).

б) Звезда типа Солнца вблизи центра Галактики,  $R \sim 8$  кпк (1 кпк = 206265 а. е.  $\approx 3 \cdot 10^{18}$  см). Из-за уменьшения принимаемого потока от источника обратно пропорционально квадрату расстояния до него поток на Земле от звезды типа Солнца с 10 кпк  $F(10\text{ кпк})/F_{\odot}(1\text{ а. е.}) = (1\text{ а. е.}/10\text{ кпк})^2 \sim (2 \cdot 10^5 \cdot 10^4)^{-2}$ , почти на 19 порядков слабее!

Поэтому для удобства в астрономии используются логарифмическая шкала потоков (ср. децибелы в акустике). Это тесно связано не только с удобством записи очень больших (малых) чисел, но и с биологическими особенностями человеческих органов чувств. Человеческое восприятие (зрение, слух) реагирует на сигналы именно в логарифмическом отношении (т. н. психофизический закон Вебера–Фехнера: если раздражение возрастает в геометрической прогрессии, ощущение возрастает в арифметической прогрессии).

**Понятие звездной величины.** Звездные величины — мера относительного потока излучения от звезд — введены Гиппархом Родосским во II в. до н. э., как 5 степеней видимого блеска звезд. Матема-

тически определение звездных величин было сформулировано англ. астрономом Погсоном в 1859 г., предложившим для разности двух звездных величин  $m_2$  и  $m_1$  форму записи (формула Погсона):

$$m_2 - m_1 = -2.5 \lg \left( \frac{F_2}{F_1} \right), \quad (\text{G.1})$$

где  $F_{1,2}$  — потоки принимаемого излучения от источников. Коэффициент в формуле (G.1) выбран таким образом, что поток от звезды 5-й величины в 100 раз слабее, чем от звезды 0-й величины. Знак минус в формуле (G.1) — дань исторической традиции (яркие звезды имеют меньшую, в т. ч. отрицательную, звездную величину). Очевидно, ослабление блеска источника на 5 звездных величин соответствует ослаблению потока в 100 раз.

Часто звездные величины используются и для характеристики поглощения излучения (вместо оптической толщи). Действительно, пусть излучение от звезды ослаблено на  $\Delta m$  звездных величин. Найдем, какой оптической толще по поглощению это соответствует. Применяя формулу Погсона, получаем:  $\Delta m = -2.5 \lg(F_2/F_1) = -2.5 \lg(F \exp\{-\tau\}/F) = -2.5 \lg \exp\{-\tau\} = 2.5\tau \lg e \approx 1.086\tau$ , т. е. с точностью порядка 10% оптическая толща равна ослаблению блеска звезды поглощающей материей, выраженному в звездных величинах.

Нуль-пункт шкалы звездных величин устанавливается по совокупности специально отобранных не переменных звезд, принимаемых в качестве стандартных (одной из таких звезд является яркая звезда Вега из созвездия Лиры). «Цвет» звезды с распределением энергии в спектре  $F(\lambda)$  определяется как разность звездных величин в двух различных спектральных диапазонах:

$$m_i - m_j = -2.5 \lg \left( \frac{\int_0^{\infty} K_i(\lambda) F(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} K_j(\lambda) F(\lambda) d\lambda} \right) + C, \quad (\text{G.2})$$

где  $C$  — константа, определяемая выбором нуль-пункта шкалы показателей цвета (показатели цвета считаются равными нулю для  $F(\lambda)$ , соответствующей близким звездам класса A0),  $K_{i,j}$  — функции пропускания соответствующих фильтров. Широкоупотребительна система цветов U (от «ultraviolet»,  $\langle \lambda_U \rangle = 3650 \text{ \AA}$ ,  $\Delta \lambda \approx 700 \text{ \AA}$ ), B (от

«blue»,  $\langle \lambda_B \rangle = 4400 \text{ \AA}$ ,  $\Delta \lambda \approx 1000 \text{ \AA}$ ), V (от «visual»,  $\langle \lambda_V \rangle = 5550 \text{ \AA}$ ,  $\Delta \lambda \approx 900 \text{ \AA}$ ).

Для грубых оценок полезно знать приближенное соотношение: нуль-пункт (т. е. звезда 0-й звездной величины) характеризуется определенным потоком квантов с длиной волны  $\lambda = 5500 \text{ \AA}$

$$0^m \rightarrow 10^3 \text{ кв./}(\text{см}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{ \AA}), \quad (\text{G.3})$$

а так как характерная ширина V-полосы  $\Delta \lambda_V \approx 1000 \text{ \AA}$ , то поток квантов от звезды нулевой величины в видимой области спектра

$$F_V(0^m) \approx 10^6 \text{ кв./}(\text{см}^2 \cdot \text{с}). \quad (\text{G.4})$$

Современные крупные телескопы позволяют измерять потоки от звезд примерно до 29-й звездной величины.

**Абсолютная звездная величина  $M$ .** По определению, это звездная величина, которую имел бы источник (звезда, галактика и т. п.) на расстоянии в 10 пк. Пусть звезда находится на расстоянии  $r$  и имеет видимую звездную величину  $m$ . Учитывая зависимость изменения принимаемого потока излучения от источника с расстоянием  $F \sim r^{-2}$ , непосредственно из формулы Погсона (G.1) получаем:

$$m - M = -2.5 \lg \left( \frac{F(r)}{F(10 \text{ пк})} \right) = 5 \lg \left( \frac{r}{\text{пк}} \right) - 5 + A(\lambda) \quad (\text{G.5})$$

(здесь  $A(\lambda)$  учитывает межзвездное поглощение света).

В качестве примера рассмотрим Солнце. Взяв видимую звездную величину  $m_{\odot} = -26^m.8$ , из формулы (G.5) получаем:  $M_{\odot} \approx +4.^m8$ .

Физический смысл абсолютной звездной величины вытекает из ее связи со светимостью источника. Действительно, так как абсолютная звездная величина по определению всегда относится к стандартному расстоянию 10 пк, то

$$M - M_{\odot} = -2.5 \lg(L/L_{\odot}), \quad (\text{G.6})$$

откуда

$$L/L_{\odot} = 10^{-0.4(M - M_{\odot})}. \quad (\text{G.7})$$

Если из каких-либо соображений известна абсолютная звездная величина светила и сделана оценка поглощения света в его направлении, то, измеряя видимую звездную величину, получаем оценку рас-

стояния до него, т. к. правая часть формулы (G.5) есть функция расстояния. Поэтому разность видимой и абсолютной звездной величины  $m - M$  называют модулем расстояния. Абсолютные величины различных звезд лежат в широком диапазоне от  $-10$  (яркие голубые сверхгиганты) до  $+18$  (слабые коричневые карлики). Разность абсолютных звездных величин  $\Delta M = 28$  означает различие в светимости в  $10^{28 \cdot 0.4} \approx 1.6 \cdot 10^{11}$  раз.