



## ЗВЁЗДНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

«Звезда первой величины» – так часто говорят про человека всем известного, знаменитого, яркого. Но у астрономов звёзды первой величины – не самые яркие. На небе найдётся дюжина звёзд поярче. Какой же тогда они величины? Нулевой и минус первой.

*Звёздная величина* – мера яркости звёзд на нашем небе. Чем звезда ярче, тем её величина меньше: самая яркая звезда, Сириус, имеет звёздную величину  $-1,5$ , а самые слабые звёзды, которые различает невооружённым глазом человек с нормальным зрением, – шестой звёздной величины. Правда, в хорошие ясные ночи зоркие люди могут разглядеть и гораздо более тусклые звёзды – восьмой величины. Для краткости вместо слов «звёздная величина» астрономы приписывают сверху индекс  $m$ , например: звезда Вега (ярчайшая звезда созвездия Лиры)  $0^m$ , Полярная звезда  $2^m$ . Планеты бывают ярче самых ярких звёзд – например, Венера или Юпитер могут быть  $-3^m$  или даже  $-4^m$ . Есть много слабых звёзд, которых мы не видим. В простенький телескоп видны звёзды до  $10^m$ .

Любители астрономии знают наизусть звёздные величины нескольких известных звёзд (а то и нескольких десятков) и определяют «на глаз» яркость любой другой звезды сравнением с ними. Когда на темнеющем вечернем небе появляется несколько (5–10) звёзд – это, скорее всего, звёзды нулевой и первой величины; когда звёзд становится много, вы можете найти «ковш» Большой Медведицы и похожий на букву W силуэт Кассиопеи – почти все звёзды в этих астеризмах (конфигурациях)  $2^m$ , а самые слабые  $3^m$ . Четвёртая величина – часто предел видимости в городе или при небольшой дымке. А уж если виден Млечный Путь и всё усыпано звёздами – вы наверняка (если зрение хорошее) видите звёзды до  $6^m$ .

Вот так же определяли звёздные величины древние греки, которые и придумали их больше двух тысячелетий назад. Почему придумали именно так? Для глаза распределение яркости по звёздным величинам представляется равномерным: звезда  $2^m$  выглядит настолько же ярче, чем  $3^m$ , насколько  $3^m$  ярче, чем  $4^m$ , и т. д. Замечательно, что с тех пор люди изобрели точные приборы, научились измерять

количество энергии (можно сказать – прямо число фотонов за секунду<sup>1</sup>), приходящее от каждой звезды, – а древнее определение осталось в силе! Разве что добавили дробные величины, и теперь астрономы могут отличить яркость звезды  $3,1^m$  от  $3,2^m$ . Но даже с этим многие любители справляются. Получается, человеческий глаз – такой совершенный прибор?

Но всё ещё удивительнее. Когда научились измерять яркость приборами, оказалось, что соседние звёздные величины отличаются друг от друга не на одно и то же число (фотонов в секунду на квадратный сантиметр, например), а ровно в одно и то же число раз! Это число примерно равно 2,5: звезда  $1^m$  в 2,5 раза ярче, чем звезда  $2^m$ , и в 2,5 раза тусклее, чем звезда  $0^m$ .

**Задача 1.** Сообразите-ка, а во сколько раз звезда  $0^m$  (например, Вега) ярче, чем звезда  $2^m$  (например, Полярная)? Во сколько раз звезда  $2^m$  ярче звезды  $5^m$ ?

**Задача 2.** Во сколько раз Сириус ( $-1,5^m$ ) ярче красной звезды Бетельгейзе ( $0,5^m$ ) из созвездия Ориона?

**Задача 3** (самая трудная). А во сколько раз Бетельгейзе ( $0,5^m$ ) ярче, чем другая красная звезда – Антарес ( $1^m$ ) из созвездия Скорпиона?

На самом деле «волшебное число» для перехода от одной звёздной величины к другой – не 2,5, а примерно 2,512. Почему такое странное число? Потому, что тогда разница в 5 звёздных величин оказывается разницей ровно в 100 раз:  $100 \approx 2,512^5$ . Так удобнее считать, когда разница в яркости очень большая. Но для маленьких «разниц» вы можете использовать 2,5. И даже не считать точно, а прикидывать – оценивать.

**Задача 4.** Звёздная величина полной Луны равна  $-12,7^m$ , а у Солнца она равна  $-26,7^m$ . Во сколько раз отличаются их яркости?

**Задача 5.** Самые слабые объекты, которые удаётся разглядеть в самый большой на Земле телескоп, имеют звёздную величину  $27^m$ . А человеческий глаз, как мы помним, видит до  $6^m$ . Во сколько раз телескопы улучшили наш предел яркости?

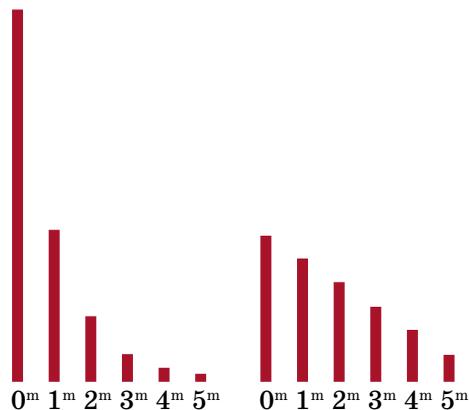
Почему же глаз устроен так странно, что вдвое более яркие и вдвое более слабые объекты кажутся

<sup>1</sup> Подсчитывать энергию и число фотонов – на самом деле совсем не одно и то же, так как фотоны «разных цветов» несут разную энергию. Но здесь мы эти подробности обсуждать не будем.





ему «одинаково удалёнными» по яркости? Ведь, например, каждому ясно, что 2 «ближе» к 1, чем к 4. А с яркостью не так: на рисунке яркость звёзд разных величин символически изображена отрезком соответствующей длины. А рядом – отрезки, соответствующие звёздным величинам, то есть тому, как мы воспринимаем эти яркости (точнее, разницу между ними). Это как если бы следующим делением линейки после 1 см у нас вместо 2 см стоял бы 1 м, и мы про все отрезки, что больше 10 см, говорили бы: «Это примерно метр!». А ещё следующим делением – после метра – было бы уже 100 м. Странная какая-то линейка...



Яркости звёзд (слева) и какими они нам кажутся (справа)

Такая линейка, или шкала (не обязательно отсчитывать именно расстояния), на которой каждое следующее деление в определённое число раз больше предыдущего, называется *логарифмической*. А зрение наше устроено логарифмически вот зачем: такое восприятие позволяет перекрыть огромный диапазон яркостей. Мы можем разглядывать – без риска для глаза – чудовищно различающиеся по яркости вещи. Во сколько там раз полная Луна ярче звезды 6<sup>m</sup>? А теперь, если минимальный размер, который вы можете отмерить руками, это примерно миллиметр – сможете ли вы отмерить руками (или даже ногами, но не используя никакие приборы) во столько раз большее расстояние? И ведь полная Луна – совсем ещё не предел максимальной доступной глазу яркости...

Такое восприятие немного похоже на то, как мы смотрим на уходящие вдаль рельсы. На ближайшей шпале мы можем разглядеть каждую трещи-

ну, каждую растущую возле неё травинку. Следующие несколько шпал нам тоже хорошо видны, но уже гораздо менее подробно, и разобраться, которая там из них восьмая, а которая – девятая, уже не так легко. А вдаль шпалы и вовсе сливаются: не то чтобы нам их не видно, и, скажем, человека мы разглядим и с большого расстояния, но вот на какой он шпале стоит – на двухсотой или трёхсотой – нам уже непонятно, да и неважно, всё равно далеко. Так же устроена логарифмическая шкала: разница между 1 м и 1 м 20 см в ней гораздо больше, чем между 100 м и 101 м. Маленькую разницу между слабыми источниками света глаз замечает лучше, чем даже в 10 раз бóльшую разницу между очень яркими.

Не только зрение, но и слух у нас устроен логарифмически. Громкость звука принято измерять децибелами: 20 дБ – шёпот, 120 дБ – такой громкий звук, что прямо больно становится.<sup>2</sup> Так вот, если один звук громче другого на 10 дБ – это значит, что энергия первого звука ровно в 10 раз больше энергии второго! А сила, с которой этот звук давит на барабанную перепонку, больше в 3 с небольшим раза. И восприятие высоты звука тоже логарифмическое: выше на октаву – значит, частота звука больше в 2 раза.

**Задача 6.** На сколько децибел отличаются громкости звуков, энергии которых отличаются в тысячу раз? А в миллион раз?

**Задача 7.** Порог слышимости – самый тихий звук, который различает обычный человек, – это как раз 0 децибел. Считая, что без вреда для глаза можно смотреть на объекты в 5 раз ярче полной Луны, сравните диапазон яркостей, воспринимаемых человеческим глазом, с диапазоном громкостей, воспринимаемых ухом. Во сколько раз самый яркий подходящий нам свет ярче самого тусклого? А во сколько раз отличаются энергии самого громкого и самого тихого звуков? Какой инструмент универсальнее – глаз или ухо?

В завершение заметим: более яркая звезда на нашем небе – не обязательно более яркая «в действительности». Может, она просто ближе. Вот ведь Солнце – вообще-то очень заурядная жёлтая звёздочка, совсем

<sup>2</sup> Про шкалу громкости звуков читайте в статье А. Щетникова «Что такое децибел» в «Квантике» № 3 за 2016 год.



# ОГЛЯНИСЬ ВОКРУГ



не яркая, а во сколько раз оно для нас ярче других! И Сириус, и Вега – хоть и яркие на самом деле, но не так уж выделяются. Самая «на самом деле яркая» из ярких звёзд нашего неба – Денеб (хвост) из созвездия Лебеда. Если бы они все были на одинаковом расстоянии от нас, Денеб был бы в 8300 раз ярче Сириуса и почти в 200 000 раз ярче Солнца! А самая яркая из известных звёзд ещё в 50 раз ярче. Правда, с Земли её без сильного телескопа вообще не разглядеть – очень уж далеко. «Настоящая яркость» звёзд называется *светимостью*, или – если пользоваться логарифмической шкалой – *абсолютной звёздной величиной*. Абсолютная – это звёздная величина, которая была бы у звезды, если бы она была от нас на расстоянии 10 парсек (примерно 32,5 световых года). Вега, например, к нам чуть ближе этого расстояния (до неё 25 световых лет), поэтому её абсолютная звёздная величина немножко больше видимой. Солнце с расстояния в 10 парсек выглядело бы всего лишь как звезда  $5^m$ . А у многих звёзд абсолютная звёздная величина меньше видимой.

Можно ли, глядя на звезду, догадаться, яркая ли она на самом деле или просто близкая? Вообще-то нет. Но есть «подсказки». Это – цвет звезды: если она белая или голубая, значит – уж точно довольно яркая, хотя и не определить на глаз, просто яркая или *чудовищно* яркая. А если жёлтая – значит, на самом деле не очень-то яркая, скорее всего, похожа на наше Солнце. Вот с красными сложнее – они могут оказаться и совсем тусклыми, и ужасно яркими. Но про это – как-нибудь в другой раз. А пока – две довольно сложные задачки напоследок.

**Задача 8.** В телескоп мистера X видны звёзды до  $10^m$ . Мистер Y сделал телескоп вдвое большего диаметра. Качество линз и зеркал у него примерно такое же. Какую предельную звёздную величину можно надеяться увидеть в его телескоп? Какой телескоп нужно сделать, чтобы улучшить достижение мистера X на 5 звёздных величин, то есть увидеть  $15^m$ ?

**Задача 9.** Звёзды A и B одинаковой светимости, но A в 2 раза дальше. Во сколько раз она слабее на небе? На сколько отличаются их звёздные величины? Во сколько раз дальше должна быть звезда, чтобы казаться на  $10^m$  слабее другой такой же звезды?

Художник Алексей Вайнер