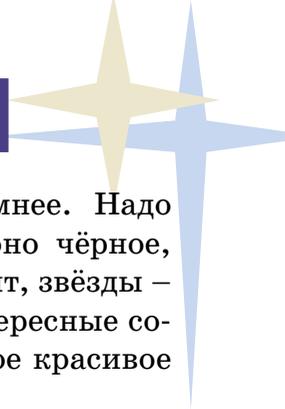


ОГЛЯНИСЬ ВОКРУГ

Валерия Сирота



ДВЕ ЗВЕЗДЫ



Самое красивое звёздное небо – зимнее. Надо только дожждаться ясной погоды: тогда оно чёрное, глубокое, холодный воздух почти не дрожит, звёзды – как алмазы... И все самые красивые и интересные созвездия видны зимними вечерами. А самое красивое и самое интересное – Орион.

Его легко найти: узнаваемая фигура плечистого охотника, очерченная яркими звёздами; роскошный пояс из трёх одинаковых ярких бело-голубых звёзд на равных расстояниях друг от друга – одного этого пояса достаточно, чтобы разглядеть Орион даже в прогалах между облаками; изогнутый лук – эта дуга слабых звёздочек как будто нарочно там вытянулась в виде лука, хотя на некоторых картинках вместо него рисуют шкуру льва или – почему-то – петуха, как будто такой славный охотник станет ловить петухов. И «изюминка» созвездия – Меч Ориона, висящий у него на поясе. Это не просто случайное собрание звёздочек, в этом месте находится замечательный физический объект – светящееся газовое облако, называемое Туманность Ориона. Это близкая к нам и самая яркая из туманностей, её хорошо видно даже невооружённым глазом! Она и образует этот размазанный светлый «фон» вокруг ярких звёздочек середины Меча. А сами эти звёздочки – большинство из них – находятся внутри туманности, образуя рассеянное звёздное скопление Трапеция Ориона. Они не случайно там оказались: туманность – это место рождения новых звёзд, и эти яркие звёзды – совсем молоденькие сестрички! Им не больше трёх миллионов лет. (Для сравнения: возраст Солнца – пять миллиардов лет.) Они подсвечивают породившую их туманность изнутри, делая её еще красивее.

И это ещё не всё. Если вооружиться даже небольшим телескопом, в Орионе можно найти ещё несколько туманностей, и тёмных и светлых. Там же, и тоже возле пояса Ориона, находится знаменитая тёмная туманность Конская Голова. И другая красивая тёмная туманность – Голова Ведьмы... Но их уже видно только в сильный телескоп.

Эта статья – не о них, а о том, что хорошо видно любому, совсем невооружённому глазу. О самых ярких звёздах Ориона – о Ригеле и Бетельгейзе. Оказывается, даже просто яркие звёзды могут быть очень красивыми и очень разными.

Бетельгейзе – правое плечо Ориона (если считать, что он смотрит на нас), Ригель – его левая нога. Они примерно одинаковой яркости (Ригель только чуть-чуть поярче). А вот цвета – совсем разного: Ригель голубой, Бетельгейзе – красная.

Почему? Что там может так сильно отличаться? Может, на самом деле одна из этих звёзд намного дальше и намного ярче другой? – Нет, Ригель действительно чуть-чуть подальше и примерно на треть ярче, но это очень маленькая разница в мире, где яркости звёзд отличаются в сотни тысяч раз. Может, они состоят из разного материала? – Тоже нет, практически все звёзды (за очень-очень редкими и экзотическими исключениями) состоят из одного и того же газа водорода, с совсем небольшими добавками гелия и более тяжёлых элементов. К тому же эти более тяжёлые добавки сосредоточены в глубине звезды, а во внешних слоях, свет от которых мы и видим, их совсем крошечная примесь. Эти примеси влияют на цвет звезды (точнее, на её спектр), но так слабо, что обнаружить это влияние можно только с помощью специального прибора – спектроскопа или спектрографа. А разницу между Ригелем и Бетельгейзе видно сразу, перепутать их невозможно.

Может, на самом деле одна из этих звёзд намного тяжелее другой? – Опять нет! Обе они очень тяжёлые (хотя и отнюдь не рекордсменки) – примерно в 17 раз тяжелее нашего Солнца. И опять почти одинаковы! В чём же дело?

Дело в температуре! Именно она определяет цвет звезды. Как и цвет горящих поленьев в костре или в печи: в ярко горящем костре пламя в центре жёлтое и даже белое, в остывающем – красное. Выражение «довести до белого каления» значит «совсем довести», сильно «разогреть». Иногда оно, кстати, употребляется и в прямом смысле, а не только в переносном.



ОГЛЯНИСЬ ВОКРУГ



В обычных земных условиях часто случается, что горящий материал влияет на цвет огня: магний, например, горит всегда очень ярким белым пламенем. Парафин добавляет жёлтый цвет. А свечечки и вообще светятся белым, оставаясь совсем холодными. Но в звёздах такого разнообразия нет, потому что везде материал почти один и тот же.¹ Поэтому там зависимость практически однозначная: температура поверхности 10–12 тысяч градусов – звезда голубая, 8 тысяч – белая, 6 тысяч – жёлтая, 3–4 тысячи градусов – красная. Внутри, кстати, все звёзды гораздо горячее, там миллионы градусов, но на цвет влияет именно температура поверхности.

Ну хорошо, теперь понятно, почему Бетельгейзе и Ригель разного цвета – разная температура поверхности. Но почему же тогда у них почти одинаковая светимость, то есть почему они одинаково яркие? Ведь холодная звезда должна бы светить гораздо тусклее. И действительно, многие красные звёзды (почти все) – очень слабенькие «светильники». Их на самом деле много, больше, чем белых. Большинство из них невооружённым глазом не видны, только в бинокль или в телескоп – как, например, ближайшая к нам звезда Проксима Центавра. Но те красные звёзды, которые видны, – почти все яркие, намного ярче нашего Солнца.

В чём же дело? Как холодная звезда может ярко светить? Очень просто: если поместить рядом очень много тусклых лампочек, они вместе окажутся ярче, чем одна яркая. Так вот, у Бетельгейзе есть ещё одно важное отличие от Ригеля – чудовищный размер. При примерно той же массе её радиус в 10 раз больше, чем у Ригеля, который и сам немаленький – и чуть ли не в тысячу раз больше, чем у Солнца. Если

¹ И ещё по одной, более сложной причине: во многих привычных нам случаях цвет определяется тем, что электроны в атомах (молекулах) переходят с одного определённого уровня на другой. Получается не просто, скажем, жёлтый цвет, а очень определённый жёлтый цвет – все фотоны, которые излучаются, не просто похожи, а одинаковы (имеют одинаковую длину волны). Про такой свет говорят, что у него «линейчатый спектр». В звёздах, а также в печке, спектр «сплошной» – излучаются фотоны всевозможных длин волн, всех цветов, и при этом почти неважно, как именно устроены молекулы или атомы. А какого цвета излучается больше – это как раз определяется температурой.

бы поставить Бетельгейзе на место Солнца, все ближние планеты, включая Марс, и весь пояс астероидов оказались бы внутри звезды! А время от времени в неё, возможно, попадала бы даже орбита Юпитера, потому что Бетельгейзе «дышит» – то раздувается, то сжимается обратно.

Яркость действительно очень сильно зависит от температуры: она пропорциональна четвёртой её степени, то есть если у одной звезды температура в 2 раза больше, чем у другой, то каждый кусочек её поверхности излучает в $2^4 = 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 = 16$ раз больше энергии. Температура Ригеля около 12000 градусов, а Бетельгейзе – всего 3600. Значит, каждый участок поверхности Ригеля светит в $(12000 : 3600)^4 \approx 125$ раз ярче. Но зато поверхность у Бетельгейзе примерно в 100 раз больше – ведь площадь поверхности пропорциональна квадрату радиуса. Вот и получается, что в сумме вся огромная звезда светит почти так же ярко, как Ригель. Только гораздо менее стабильно: то она ярче, то слабее. А из-за того, что она ближе к нам, на нашем небе она даже иногда (когда особенно ярко светит) ненадолго становится ярче Ригеля.²

Но что ж это её так раздуло? Как получилось, что при практически такой же массе Бетельгейзе во много раз больше по размеру и чуть ли не в 4 раза холоднее?

Случалось ли вам видеть такое: горит костерок, вокруг него в кружок сидят люди, греются... и вот кто-то подбрасывает в огонь охапку сухого хвороста. Искры – до неба, пламя – в рост человека... и все поспешно шарахаются в стороны, круг резко расширяется, вокруг костра – пустое место. Вот что-то в таком духе и произошло с Бетельгейзе.

Такое случается со звёздами «на старости лет», когда запас топлива в их недрах подходит к концу. Ядро звезды горит ярко, ещё ярче, чем раньше – но на самом деле это уже остатки, последние «охапки хвороста». И этим ярким последним светом окраинные области звезды «разгоняются» дальше от цен-

² Как видите, слово «яркость» двусмысленно – звезда сама по себе ярко светит, или она нам кажется яркой, потому что близко? Астрономы, чтобы избежать этой неоднозначности, называют «собственную яркость» звезды *светимостью*.



ОГЛЯНИСЬ ВОКРУГ



тра, звезда неслыханно «толстеет», в десять или даже сто раз! Масса-то не меняется, поэтому она становится очень «рыхлой»; оболочка, то есть «поверхность» звезды, которая оказалась очень далеко от центра, уже еле держится (от этой её неустойчивости и возникают колебания размера и яркости, которые астрономы наблюдают у Бетельгейзе) и к тому же сильно остывает. Такая звезда называется *красный гигант* – или, если она раз в 10 или более тяжелее Солнца, *красный сверхгигант*.

Бетельгейзе тоже ещё сравнительно недавно была голубой, как Ригель. Насколько недавно? В китайских хрониках 2000-летней давности её называли жёлтой звездой. То ли неточность перевода на современный язык, то ли она «окончательно» покраснела всего пару тысяч лет назад. И уж, во всяком случае, первобытные люди наверняка видели Бетельгейзе голубой.

А что с ней будет дальше? Увы... похоже, что дни Бетельгейзе сочтены. То есть не дни, конечно, а тысячи или десятки тысяч лет. Когда прогорит последняя «охапка хвороста», ядро обрушится в центр (как иногда делают прогоревшие поленья в костре). При этом произойдёт взрыв, большая часть вещества звезды разлетится во все стороны, а вспышка от взрыва будет такой яркости, что на Земле Бетельгейзе

Звезда	Диаметр, в диаметрах Солнца	Масса, в массах Солнца	Светимость, в светимостях Солнца	Расстояние до нас, в световых годах	Температура поверхности, в Кельвинах	Цвет	Комментарий
Сириус (альфа Большого Пса)	1,7	2	22	8,5	10000	Белый	Самая яркая на земном небе
Альдебаран (альфа Тельца)	38	2,5	150	65	3500	Оранжевый	Гигант
Бетельгейзе (альфа Ориона)	700–900	17	40000–120 000	550	3600	Красный	Сверхгигант. Самый большой угловой диаметр
Ригель (бета Ориона)	79	18	120 000	860	12100	Белоголубой	Сверхгигант. Самая большая светимость из звёзд ближе 1000 св. лет
VY Большого Пса	≈1400 = 13 а.е. = =2 млрд км	17	270 000	4000	3500	Красный	Гипергигант. Одна из крупнейших
мю Цефея	1500	40–50	350 000–450 000	5250	3700	Красный	Гипергигант «гранатовая звезда Гершеля»

будет видно даже днём: несколько суток она будет ярче полной Луны. Астрономы называют такую вспышку *сверхновой звездой*. Когда именно это произойдёт – никто не знает. Конечно, каждый астроном мечтает, чтобы это случилось на его веку...

Так что торопитесь увидеть Бетельгейзе такой, какой она была последние пару тысяч лет!

А в ожидании, когда она взорвётся, порешайте задачки.

Задачи

1. Во сколько раз объём Бетельгейзе больше, чем объём Ригеля? Во сколько раз отличаются их средние плотности?

2. Сосчитайте примерно среднюю плотность Ригеля. Плотность Солнца – около $1,4 \text{ г/см}^3$. Сколько весит один кубический метр вещества Ригеля? Сравните с плотностью воды и воздуха.

3. Почему в обозначении одной из звёзд нет греческой буквы? Почему самые большие и яркие звёзды не имеют собственных красивых имён?

4. Массы звёзд и даже расстояния до них часто известны очень неточно. Как же тогда ухитрились измерить температуру их поверхности?

5. Как видно из таблицы, самая большая из известных звёзд – мю Цефея – примерно в 9,5 раз дальше, чем Бетельгейзе, и излучает энергии примерно в 5 раз больше. Во сколько раз Бетельгейзе ярче на земном небе, чем мю Цефея? То есть во сколько раз больше энергии от неё попадает к нам в глаз или в телескоп? Если вы читали статью про звёздные величины в «Квантике» №11 за 2020 год, то сможете, наверно, оценить звёздную величину мю Цефея. Звёздная величина Бетельгейзе колеблется от $0,2^m$ до $1,2^m$.

6. Когда-то давно, когда он ещё не состарился, Альдебаран был белой звездой, похожей на Сириус – ведь у них близкие массы. Представим себе, что диаметр Альдебарана был тогда вдвое больше солнечного, а температура – 10,5 тысяч градусов, что втрое больше теперешней. Ярче или тусклее, чем теперь, светил тогда Альдебаран, и во сколько раз?



СОЛНЦЕ:

Масса $2 \cdot 10^{30}$ кг;
диаметр 1 400 000 км;
температура поверхности 6000 К.
Расстояние
от Солнца до нас 1 а.е. =
150 млн км = 8 световых минут