

Различные типы спектров

Свет, который кажется нам белым, — это совокупность лучей различных длин волн, то есть различных цветов — от красного до сине-фиолетового. Если узкий пучок яркого, например солнечного, света пропустить сквозь призму, он растянется в узкую цветную полосу спектра с плавными переходами от одного цвета к другому, поскольку для света с различными длинами волн показатель преломления стекла различен. На этом свойстве призмы были основаны конструкции первых спектрографов для изучения спектров различных источников. Позднее стеклянную призму в спектральных аппаратах сменила дифракционная решётка.

Спектральную полосу можно сфотографировать, но сама по себе она даёт лишь качественную картину спектра, демонстрируя присутствие излучения с различными длинами волн. В физике и астрономии **спектром** принято называть количественное распределение энергии излучения в зависимости от длины волны. Спектр может быть представлен не только как изображение полосы, но и в виде графика (рис. 134).

Если спектр непрозрачных тел (например, раскалённого металла) всегда непрерывный, то спектр Солнца — непрерывный с хорошо заметными тёмными линиями, находящимися всегда на тех же самых местах в спектральной полоске (рис. 135). Эти линии образуются в солнечной атмосфере. Они получили название **фраунгоферовые линии** — по имени немецкого физика XIX в. Йозефа Фраунгофера, впервые их исследовавшего. Подобные линии есть и в спектрах других звёзд. Горячие прозрачные газы имеют спектр иного типа, состоящий из отдельных светлых линий. Такой спектр принято называть **спектром излучения** или эмиссионным спектром. Он наблюдается у многих астрономических объектов.

Выяснилось, что каждый химический элемент имеет свои линии, которые могут быть как эмиссионными, так и линиями поглощения, в зависимости от свойств источника, но длины волн их всегда будут одними и теми же. Так, в конце XIX в. в науку пришёл спектральный анализ, позволяющий изучать химический состав и свойства источников дистанционно, на каком бы расстоянии от нас они ни находились. Правда, измерять количественно содержание разных химических элементов в источнике по его спектру научились не сразу. Это удалось сделать только после появления одной из фундаментальных физических теорий — *квантовой механики*, объяснившей механизмы излучения света атомами.

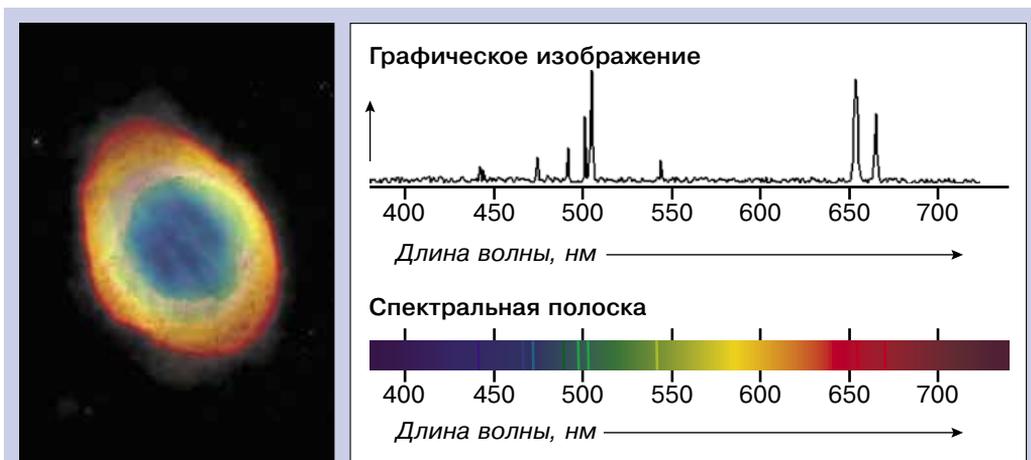


Рис. 134. Газовая туманность М57 (слева) и её спектр в графическом изображении и в виде спектральной полоски (справа)

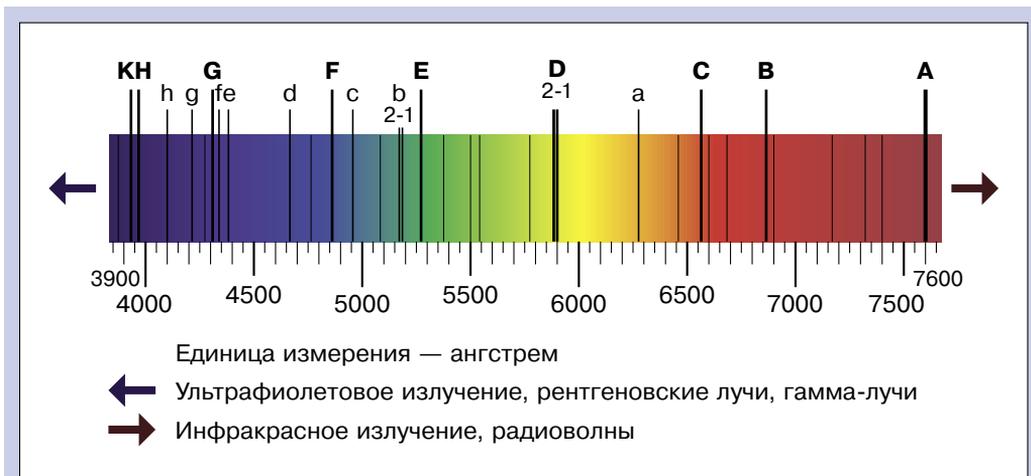


Рис. 135. Положение наиболее сильных тёмных линий в оптическом спектре Солнца от 3900 до 7600 ангстрем. Вверху приведены принятые обозначения линий. Самые заметные линии принадлежат водороду, кальцию, железу

Применительно к астрономическим объектам спектральный анализ доказал, что планеты светятся отражённым светом Солнца (у них спектр почти такой же), а спектр звёзд может быть разным и зависит в первую очередь от цвета звезды или от её температуры.

Астрономов давно интересовала природа светлых пятнышек, названных **туманностями**, разбросанных по всему небу и видимых, за несколькими исключениями, только в телескопы. Когда удалось получить их спектры, то оказалось, что они бывают двух разных типов: *непрерывный спектр с линиями поглощения*, как у звёзд, и *линейчатый*, как у газа. В первом случае туманности представляют собой далёкие звёздные системы, во втором — горячие облака межзвёздного газа в нашей Галактике (см. рис. 134). И в том и в другом случае спектральные линии принадлежат известным химическим элементам.

Подведём итог:

- спектры твёрдых непрозрачных тел — непрерывные, без линий;
- спектры звёзд — непрерывные, с линиями поглощения, причём набор линий может быть разным в зависимости от температуры звезды даже при одном и том же химическом составе;
- спектры планет и астероидов близки к спектру Солнца (хотя наличие атмосфер планет приводит к появлению дополнительных линий в спектре);
- спектры разреженных газов (газовые межзвёздные облака, газовые хвосты комет) содержат линии излучения тех элементов, из которых состоит газ.

Анализ спектров позволяет не только отличить свечение газа от звёздного свечения и узнать химический состав источников света. По измерению формы и относительной яркости спектральных линий, как оказалось, можно оценить температуру и плотность звёздных атмосфер и межзвёздного газа, понять, в результате действия каких процессов рождается излучение, то есть подробно исследовать физическое состояние той среды, свет которой исследуется. Поэтому с появлением спектрального анализа в астрономии появилось новое быстро развивающееся направление — *астрофизика*.

Эффект Доплера в астрономии

В изучении астрономических объектов очень важную роль сыграло обстоятельство, что точное измерение длин волн спектральных линий (как поглощения, так и излучения) даёт возможность определить скорость, с которой источник приближается или удаляется от нас. Для этого используется хорошо известный в физике **эффект Доплера**. Этот эффект относится к любым волновым процессам — будь то свет, звук, радиоволны или ещё какое-либо излучение.

Согласно эффекту Доплера при непрерывном изменении расстояния до источника меняется длина волны приходящего от него света, следова-

тельно, сдвигаются все без исключения линии в спектре. В большинстве случаев эти сдвиги очень малы, но их всё же можно обнаружить.

Если у неподвижного источника длина волны какой-либо спектральной линии равна λ_0 , а источник удаляется со скоростью V , то длина волны линии станет равной λ , что несколько больше, чем λ_0 . Относительная величина изменения длины волны определяется отношением скорости V к скорости распространения волн c (для света это 300 тыс. км/с):

$$\frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{V}{c}.$$

Если источник не удаляется, а приближается к нам, то формула не меняется, только скорость надо будет считать отрицательной, а это значит, что длины волн будут не возрастать, а уменьшаться. Например, если звезда приближается к нам со скоростью 30 км/с, а длина волны линии равна 656 нм (это красная линия водорода), то сдвиг линии составит $\frac{-30 \cdot 656}{300\,000} = -0,0656$ нм, то есть линия будет немного смещена в сторону коротковолнового (синего) конца спектра. Эту величину можно уверенно измерить.

Приведённая формула для эффекта Доплера верна, только если $V \ll c$. В подавляющем большинстве случаев эта простая формула вполне пригодна для точной оценки скоростей астрономических объектов. Например, скорости звёзд нашей Галактики относительно Солнца, за редким исключением, не превышают 300 км/с. В астрономии скорости, сопоставимые со скоростью света, встречаются почти исключительно у очень далёких галактик.

Основные выводы

- Современная астрономия использует различные типы измерений для исследования космических объектов.
- Основным астрономическим инструментом является **телескоп**. Наземные обсерватории используют два типа телескопов — **оптические** и **радиотелескопы**, соответствующие оптическому и радиоокну прозрачности атмосферы.
- Излучение, не проникающее сквозь атмосферу, исследуется за пределами атмосферы с помощью специализированных космических обсерваторий.