



Контрольные вопросы и задания

1. На какие диапазоны подразделяется весь спектр электромагнитного излучения?
2. Почему с поверхности Земли нельзя вести изучение небесных объектов во всех диапазонах электромагнитного излучения?
3. Какие основные задачи решают в астрономии с помощью телескопов?
4. Как можно определить видимое увеличение оптической системы телескопа?
5. Что понимают под разрешающей способностью телескопа? Проницающей способностью?
6. Что понимают под внеатмосферной астрономией?
7. Определите разрешающую способность зрительной трубы с диаметром объектива 5 см.
8. Увеличение телескопа равно 75. Фокусное расстояние объектива 5 м. Определите фокусное расстояние окуляра.
9. Из телескопа с фокусным расстоянием объектива 3 м вынули окуляр и глазом рассматривают очень далекий предмет, полученный в главном фокусе объектива. Какое увеличение дает телескоп?

§ 18. Спектральный анализ в астрономии

1. Виды спектров. В 1666 г. Исаак Ньютон, пропуская пучок света через трехгранную стеклянную призму, заметил, что тот не только преломляется к основанию призмы, но и распадается на цветовые составляющие. Полученная на экране цветная полоска, состоящая из семи основных цветов, постепенно переходящих один в другой, была названа **спектром**.

Для наблюдения и исследования спектров применяют прибор — **спектроскоп**. Для получения и регистрации спектров небесных тел используют специальный оптический прибор — **спектрограф**.

Спектры сравнительно ярких светил фотографируют с помощью щелевых спектрографов, состоящих из коллиматора, призмы и фотокамеры (рис. 106).

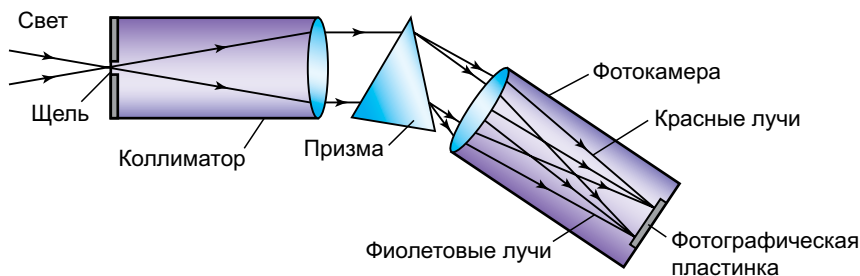


Рис. 106. Схема щелевого спектрографа

Фотографический снимок спектра небесного тела называется **спектрограммой**. Спектрограммой называют также график зависимости интенсивности (мощности) излучения небесного тела от длины волны или частоты.

Любое светящееся тело создает **спектр испускания**. Спектры бывают сплошные (непрерывные), линейчатые и полосатые.

Сплошной спектр имеет вид непрерывной полосы, цвета которой постепенно переходят один в другой. Все твердые тела, расплавленные металлы, светящиеся газы и пары, находящиеся под очень большим давлением, дают сплошной спектр. Такой спектр можно, например, получить от дугового фонаря и горящей свечи.

Иной вид имеет спектр, если в качестве источника света используются раскаленные газы или пары, когда их давление мало отличается от нормального и газы находятся в атомарном состоянии. В этом случае говорят о **линейчатом спектре** (атомном). Он состоит из отдельных резких цветных линий, разделенных темными промежутками (рис. 107). Установлено, что каждый химический элемент в состоянии раскаленного газа, состоящего из атомов, испускает присущий только ему одному линейчатый спектр с характерными цветными линиями, всегда расположенными на определенном месте.

Полосатый спектр (молекулярный) состоит из отдельных линий, сливающихся в полосы (четкие с одного края и размытые с другого), разделенные темными промежутками. Такой спектр испускают молекулы газов и паров.

Наряду со спектрами испускания существуют спектры поглощения.

Сплошной спектр, пересеченный темными линиями или полосами в результате прохождения белого света через раскаленные газы или пары, называется

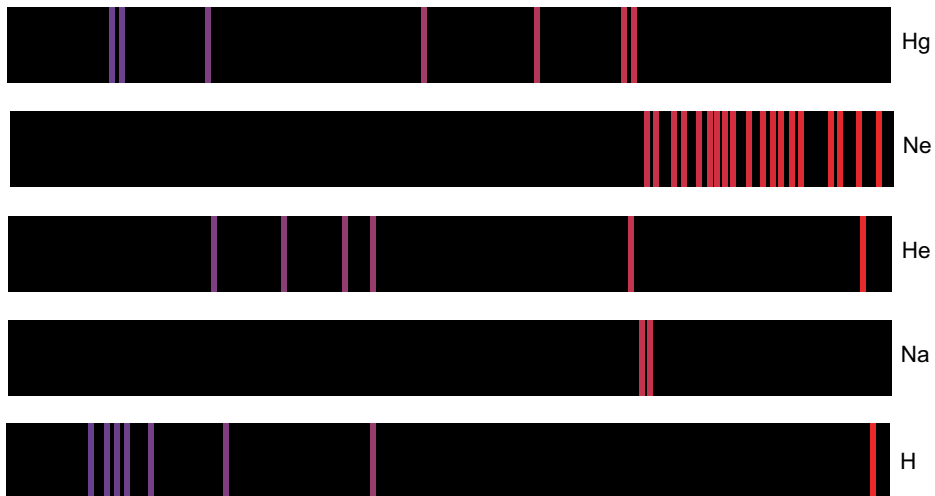


Рис. 107. Линейчатые спектры некоторых веществ (Hg, Ne, He, Na, H)

спектром поглощения. Исследование явления возникновения спектров поглощения показало, что *вещество поглощает лучи тех длин волн, которые оно может испускать в данных условиях.*

Таким образом, для каждого химического элемента его линейчатый спектр испускания и спектр поглощения обладают обратимостью. Это значит, что расположение темных линий поглощения в точности соответствует расположению цветных линий испускания.

Спектр содержит важнейшую информацию об излучении. Общий вид спектра и детальное распределение энергии в нем зависят от температуры, химического состава и физических свойств источника, а также от скорости его движения. Метод исследования химического состава тел и их физического состояния с помощью спектров испускания и поглощения называется **спектральным анализом.**

2. Химический состав небесных тел. В 1814 г. немецкий физик Йозеф Фраунгофер, наблюдая спектр Солнца при помощи изготовленного им спектроскопа с дифракционной решеткой, обратил внимание на то, что сплошной спектр Солнца содержит значительное число темных линий. Ученый установил, что эти линии (названные впоследствии его именем) не случайны и всегда присутствуют в спектре Солнца на строго определенных местах. **Фраунгоферовы линии** — не что иное, как линии поглощения паров различных веществ, находящихся вблизи источника сплошного спектра — яркой поверхности Солнца (между фотосферой и спектральным прибором). Солнце окружено газовой оболочкой, имеющей более низкую температуру и меньшую плотность, чем фотосфера. Таким образом, спектр Солнца есть, по существу, спектр поглощения этих паров.

При детальной классификации фраунгоферовых линий один за другим на Солнце обнаружили все земные элементы. После осуществления большой по объему работы по установлению соответствия фраунгоферовых линий определенным элементам оказалось, что несколько спектральных линий не принадлежат ни одному земному элементу. Так был открыт новый элемент — гелий (солнечный). И только через 26 лет гелий обнаружили на Земле.

Сравнивая длины волн линий поглощения, наблюдаемых в спектрах небесных тел, с полученными в лаборатории или рассчитанными теоретически спектрами различных веществ, можно определить химический состав излучающего космического объекта, находящегося на очень большом расстоянии. Спектральный анализ позволяет определить состав не только Солнца, но и других объектов — звезд, туманностей. Анализ спектров — основной метод изучения физической природы космических объектов, который используется в астрофизике.

3. Температура. Законы Вина и Стефана—Больцмана. Всякое, даже слабо нагретое, тело испускает электромагнитные волны (тепловое излучение). При температурах, не превышающих 10^3 К, испускаются главным образом инфракрасные лучи и радиоволны. По мере дальнейшего нагревания спектр теплового

излучения меняется: во-первых, увеличивается общее количество излучаемой энергии, во-вторых, появляются лучи все более и более коротких длин волн — видимые (от красных до фиолетовых), ультрафиолетовые, рентгеновские и т. д.

При тепловом излучении внутренняя энергия теплового движения атомов и молекул тела переходит в энергию испускаемых электромагнитных волн. При поглощении света происходит обратный процесс перехода электромагнитной энергии во внутреннюю энергию тела.

Распределение энергии в непрерывном спектре тел разной температуры можно представить в виде графика (рис. 108). С увеличением температуры максимум излучения абсолютно черного тела смещается в коротковолновую область спектра. Длина волны λ_{max} , которой соответствует максимум в распределении энергии, связана с абсолютной температурой T соотношением, которое называют **законом смещения Вина**:

$$\lambda_{\text{max}} \cdot T = b,$$

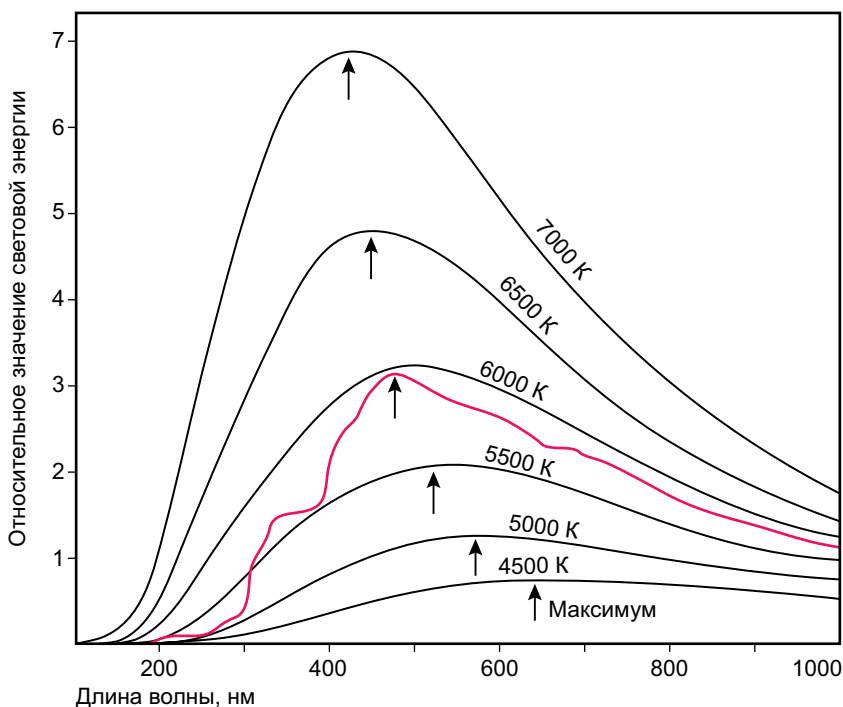


Рис. 108. Распределение энергии в непрерывных спектрах тел, нагретых до разных температур. Красная кривая линия — спектр Солнца

где b — постоянная Вина ($b \approx 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$). Данный закон выполняется не только для оптического, но и для любого другого диапазона электромагнитного излучения.

В спектрограмме Солнца наибольшая интенсивность излучения приходится на длину волны $\lambda = 480 \text{ нм}$, поэтому температура солнечной фотосферы близка к 6000 К .

По мере увеличения температуры меняется не только цвет излучения, но и его мощность. В результате экспериментов и теоретических расчетов было обосновано, что *мощность излучения абсолютно черного тела пропорциональна четвертой степени температуры (закон Стефана—Больцмана)*. Каждый квадратный метр поверхности абсолютно черного тела излучает за 1 с по всем направлениям во всех длинах волн энергию:

$$\varepsilon = \sigma T^4,$$

где ε — мощность излучения единицы поверхности нагретого тела, T — абсолютная температура, σ — постоянная Стефана—Больцмана, которая равна $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$.

Зная количество энергии, приходящей от звезды к земной поверхности, можно по закону Стефана—Больцмана определить ее температуру. Законы Вина и Стефана—Больцмана справедливы для излучения абсолютно черного тела. В первом приближении можно считать, что звезды, и в частности Солнце, излучают как абсолютно черное тело.

4. Эффект Доплера. В астрофизике широко используется **эффект Доплера**, возникающий при движении источника излучения относительно наблюдателя. Суть эффекта Доплера заключается в следующем: если источник излучения движется по лучу зрения наблюдателя со скоростью v_r , называемой лучевой скоростью, то вместо длины волны λ_0 , которую излучает источник, наблюдатель фиксирует волну длиной λ , так что

$$\lambda = \lambda_0 \left(1 + \frac{v_r}{c}\right),$$

где c — скорость света.

Скорость v_r положительна при удалении источника света от наблюдателя ($\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0 > 0$) и отрицательна при приближении к нему ($\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0 < 0$).

С эффектом Доплера мы часто сталкиваемся в акустике. Например, если вы стоите на платформе, мимо которой проходит поезд, то можете заметить, что пока он приближался, звуковой сигнал был более высоким, а когда стал

удаляться, высота звука сразу снизилась. Аналогичное явление наблюдается и в оптике: свет от приближающегося источника становится более синим (частота увеличивается), а от удаляющегося — более красным (частота уменьшается). Это изменение сказывается на положении спектральных линий в спектре: они смещаются в синюю или красную область.

Для измерения смещения спектральных линий рядом со спектром исследуемой звезды на ту же фотопластинку фотографируют спектр лабораторного источника, в котором имеются известные спектральные линии. Потом при помощи микроскопов, снабженных точными микрометрами, измеряют смещение линий объекта по отношению к лабораторной системе длин волн и тем самым находят величину $\Delta\lambda$. Затем по формуле

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{v_r}{c},$$

которая следует из приведенной выше, вычисляют лучевую скорость v_r .

Данная выше формула Доплера пригодна лишь для скоростей v_r в пределах до 0,1 скорости света. При движении источников излучения со скоростями, близкими к скорости света, необходимо учитывать законы теории относительности.

Сдвиг спектральных линий теоретически предсказал в 1842 г. австрийский физик Х. Доплер. Истинность его выводов подтвердил в 1899 г. лабораторными опытами и наблюдениями спектров звезд русский астрофизик А. А. Белопольский.



Главные выводы

1. Все светящиеся тела создают спектры испускания, которые могут быть сплошными (непрерывными), линейчатыми и полосатыми.
2. Каждый химический элемент имеет свой, только ему свойственный, линейчатый спектр. Линейчатый спектр строго постоянен и не зависит от того, входит этот элемент в состав сложного вещества или взят в чистом виде.
3. При относительном перемещении источника излучения и наблюдателя происходит смещение спектральных линий в его спектре.
4. В соответствии с законом смещения Вина любое тело, нагретое выше температуры абсолютного нуля, излучает энергию. Данный закон объясняет сдвиг в сторону коротких волн максимума (видимого или невидимого) излучения тел по мере их нагрева.
5. Закон Стефана—Больцмана описывает зависимость энергии теплового излучения от температуры.



Контрольные вопросы и задания

1. Что такое спектр? Какие явления доказывают сложный состав света?
 2. Назовите и дайте определения трем основным видам спектров.
 3. Что такое спектральный анализ?
 4. Сформулируйте и запишите закон смещения Вина и закон Стефана—Больцмана. Какое значение эти законы имеют в астрономии?
 5. В каком случае смещение линий спектрограммы может не происходить, несмотря на движение объекта?
 6. Определите температуру звезды, если в ее спектре максимум интенсивности излучения приходится на длину волны 340 нм.
 7. Измерение спектрограммы звезды показало, что линия железа ($\lambda = 530,2$ нм) в ее спектре смещена по сравнению с линиями лабораторного источника в сторону наиболее коротких волн на 0,02 нм. Какова скорость звезды по лучу зрения?
 8. Эффект Доплера используется для оценки скорости извержения водорода в солнечных протуберанцах. Определите эту скорость, если измерения показали для α -линии водорода ($\lambda_\alpha = 656,3$ нм) доплеровский сдвиг $\Delta\lambda = 0,3$ нм.
-