

Астрономия - IX

1 Свет и электромагнитное излучение

Большая часть наших знаний о физической природе космических объектов получена в результате изучения приходящих от них *электромагнитных волн*. Они обладают некоторыми особенностями, позволяющими определить природу породивших их процессов.

Свет обладает свойством *корпускулярно-волнового дуализма*. С одной стороны, это электромагнитные волны¹, с другой — свет может проявлять свойства частиц (*фотонов*), процессы испускания и поглощения которых характеризуются строго определёнными значениями энергии и импульса². Эта особенность света лежит в основе *квантовой механики*³.

Частота ν электромагнитной волны связана с её скоростью c и длиной λ через формулу $\lambda \cdot \nu = c$, где $c = 3 \cdot 10^8$ м/с - скорость света в вакууме⁴. Свет переносит энергию, значение которой простым образом связано с его частотой: $E = h\nu$, где $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж $\cdot$ с - *постоянная Планка*. Чем больше частота, тем больше энергия, и наоборот.

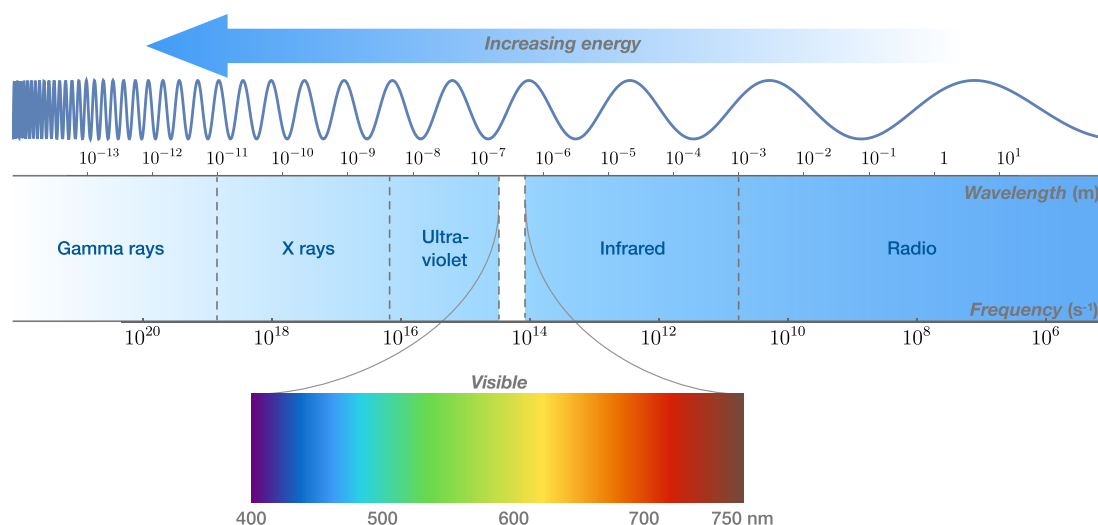


Рис.1. Диапазоны электромагнитного излучения. Длина волны увеличивается слева направо. Частота (и энергия фотонов) увеличиваются справа налево.

Взаимодействие электромагнитных волн с веществом сильно зависит от их частоты. Излучение делят на диапазоны: гамма-лучи, рентген, ультрафиолет, видимый свет, инфракрасное излучение и радиоволны. Вместе они образуют электромагнитный *спектр*.

¹Волновая теория света впервые описана Х. Гюйгенсом и подтверждается многими экспериментами, в частности, в опыте Т. Юнга с двумя щелями, в котором свет испытывает *интерференцию* и *дифракцию*.

²Корпускулярная теория света была разработана И. Ньютоном и проявляется, например, в открытых гораздо позже явлениях *фотоэффекта* или давления света.

³Элементарные частицы (например, электроны) тоже могут проявлять волновые свойства.

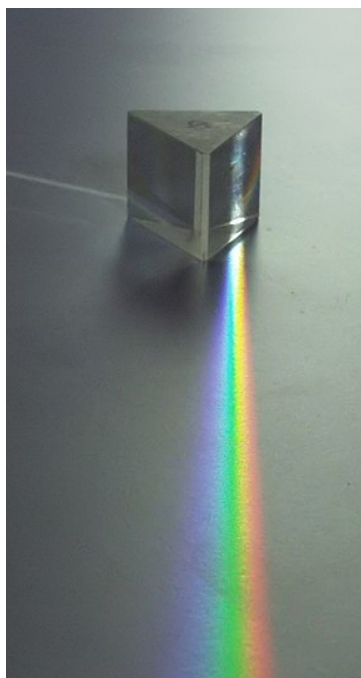
⁴В среде она ниже в n раз, где n - показатель преломления среды (для воздуха он близок к единице). Длина волны обычно выражается в метрах и кратных им единицах, а частота — в Герцах (1 Гц = 1 с⁻¹).

2 Немного физики

Электромагнитное излучение возникает при ускоренном движении заряженных частиц. Совершающие колебательные движения электрические заряды порождают периодически меняющееся электрическое поле. Оно, в свою очередь, приводит к появлению переменного магнитного поля, которое создаёт переменное электрическое поле, и так далее. Оба этих поля всегда существуют одновременно. Электромагнитные волны, как и другие поперечные волны, могут обладать *поляризацией*. М. Фарадей предсказал существование электромагнитных волн. Дж.К. Максвелл теоретически обосновал положение о распространении электромагнитного поля в пространстве, в том числе и в вакууме, в виде поперечных волн, распространяющихся со скоростью света. Г. Герц подтвердил эту теорию опытным путём.

3 Видимый свет

Разные длины волн света в видимом диапазоне воспринимаются человеком как разные цвета — от фиолетового ($\lambda \approx 400$ нм) до красного ($\lambda \approx 750$ нм)⁵. Излучение можно разделить на компоненты при помощи специальных оптических приборов — спектро스코пов.



Например, в результате *дисперсии* при прохождении через призму свет разной длины волны преломляется по-разному: длинные волны отклоняются меньше, чем короткие. Радуга - пример естественного спектра, получающегося при разложении света множеством капелек воды на лучи различных цветов.

Не каждому цвету соответствует определённая длина волны: некоторые цвета можно получить только смешиванием. Так, например, белый цвет - это (с некоторой условностью) сочетание всех возможных волн в видимом диапазоне. Напротив, чёрный цвет соответствует отсутствию какого-либо света.

За восприятие человеческим глазом всего разнообразия цветов и оттенков видимого света отвечают всего три различных типа рецепторов (*колбочек*), которые чувствительны к красному, зеленому и синему цветам, что позволяет воспроизводить практически любой цвет, смешивая эти три основных цвета. По сравнению с другим типом рецепторов — *палочками* — колбочки гораздо менее чувствительны к яркости света⁶.

Излучение от окружающих нас источников света не является *монохроматичным*, то есть таким, которому соответствует строго определённая частота⁷. Энергия, которую переносит с собой свет от источника излучения, как правило, неравномерно распределена по волнам всех частот (или длин волн). Зрительно оценить распределение энергии практически невозможно, так как глаз обладает избирательной чувствительностью к свету: максимум его чувствительности лежит в жёлто-зелёной области видимого диапазона света.

⁵Традиционное деление видимого диапазона спектра на семь цветов радуги является культурной условностью, так как никаких четких физических границ между цветами нет.

⁶В ночное время, когда поток электромагнитных волн недостаточен для нормальной работы колбочек, зрение обеспечивают только палочки, поэтому ночью человек не может различать цвета. Чувствительность одной палочки достаточна, чтобы зарегистрировать попадание даже 2-3 фотонов на сетчатку глаза.

⁷Такое излучение можно получить при помощи лазеров, излучающих в очень узком диапазоне частот.

4 Спектральный анализ

Анализ состава излучения (не обязательно только в видимом диапазоне) является основным методом изучения природы астрофизических объектов и может дать полную информацию об источнике света. Как показывает опыт, спектры можно разделить на три типа.

В **непрерывном** спектре (сверху) представлены волны всех длин волн в заданном диапазоне.

Такой спектр имеет, например, Солнце или нагретая лампочка. В **линейчатом** спектре (посередине) есть цветные линии различной яркости, разделённые тёмными широкими полосами: это означает, что вещество излучает свет только вполне определённых длин волн⁸. Такие спектры имеют все вещества в газообразном атомарном состоянии; это основной тип спектров, уникальный для каждого атома. Спектр **поглощения**

(снизу) представляет из себя тёмные линии на фоне непрерывного спектра. Его можно получить, пропуская белый свет сквозь холодный, не излучающий газ, который будет поглощать свет именно тех длин волн, которые он сам испускает в сильно нагретом состоянии.

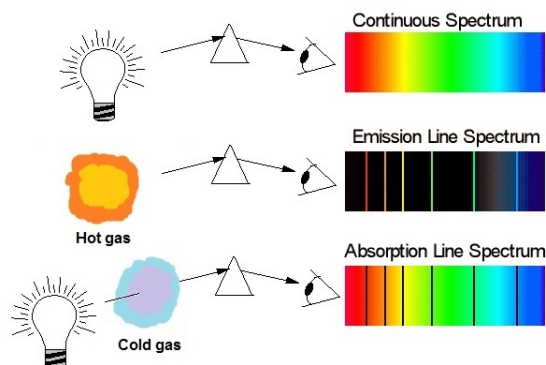


Рис.3. Различные типы спектров.

Прошедшая через призму полоса света даёт нам только информацию о наличии в составе излучения электромагнитных волн разных длин. В более общем смысле спектром называется некоторая функция⁹, показывающая, в какой мере в свете представлены разные цвета (или, говоря шире, разные длины волн, частоты или энергии; например, можно говорить о рентгеновском или инфракрасном спектрах). Построить такую зависимость можно при помощи *спектрографов* различных конструкций.

5 Почему небо голубое?

В свете от Солнца присутствуют все видимые нами цвета от красного до фиолетового (поэтому оно и кажется нам жёлтым или белым)¹⁰. Земная атмосфера устроена таким образом, что свет с короткой длиной волны рассеивается воздухом¹¹ сильнее, чем свет с большой длиной волны. Такое рассеяние называется *рэлеевским*. Так как излучение синего цвета имеет более короткую длину волны, он больше рассеивается в атмосфере, чем красный. Суммарное излучение всех длин волн воспринимается глазом как голубой цвет¹². Во время заката и рассвета путь прямого солнечного света намного больше, чем днём. Поэтому короткие волны (синий и даже зелёный свет) рассеиваются в стороны, а прямой свет от Солнца и освещаемые им облака и небо вблизи горизонта окрашиваются в красные тона.

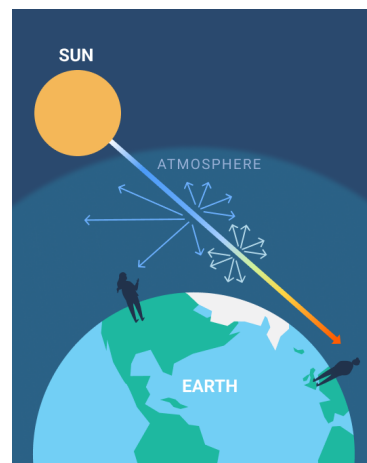


Рис.3. Рассеяние солнечного света.

⁸Точнее, в определённых очень узких спектральных интервалах.

⁹Она называется *спектральной плотностью потока излучения*, но иногда её обозначают как интенсивность, яркость, поток, мощность излучения и т.д.

¹⁰Солнце излучает на всех длинах волн, но максимум его интенсивности приходится на видимый свет.

¹¹Точнее, неоднородностями плотности воздуха. Это приводит к появлению *диффузного излучения* неба.

¹²Но не фиолетовый, так как интенсивность излучения в солнечном спектре неравномерна и в коротковолновой части она меньше. Также глаз менее чувствителен к фиолетовому цвету и более — к синему.