



Рис. 1.2. Спектр электромагнитного излучения.

фиолетовых лучей видимого спектра, поглощается кислородом и озоном в верхних слоях атмосферы. Это можно считать благоприятным обстоятельством, поскольку ультрафиолетовые лучи вредоносны для живых организмов. При температуре поверхности Солнца (6000 К) наибольшая интенсивность излучения приходится на оранжевую часть видимого света с длинами волн около 600 нм.

### 1.5. Квантовая теория

В 1900 г. Макс Планк сформулировал теорию, согласно которой перенос энергии в нагретых телах осуществляется дискретными порциями, называемыми квантами. Теорию Планка можно выразить математически с помощью равенства

$$E = h\nu, \quad (1.3)$$

где  $E$  — энергия одного кванта,  $\nu$  — частота излучения (т. е. число волн, распространяющихся за единицу времени),  $h$  — постоянная величина. Постоянная Планка  $h$  имеет размерность произведения энергии на время, и в системе СИ она равна  $6,626 \cdot 10^{-34}$  Дж·с. По теории Планка, осциллятор, имеющий основную частоту  $\nu$ , может принять энергию, равную  $h\nu$ ,  $2 \cdot h\nu$ ,  $3 \cdot h\nu$ , ...,  $n \cdot h\nu$ , но не может поглотить энергию, меньшую чем энергия целого числа квантов. Пятью годами позднее Альберт Эйнштейн обобщил теорию Планка применительно к свету и предположил, что световая энергия передается не непрерывным потоком, а дискретными порциями, или квантами. Энергия одного кванта света, или фотона, равна произведению постоянной Планка на частоту света, т. е.

$$E = h\nu. \quad (1.3)$$

Поскольку частота  $\nu$  обратно пропорциональна длине волны, фотоны, соответствующие коротковолновому излучению, имеют более высокую энергию, чем фотоны больших длин волн, т. е. фотоны синего света, соответствующие коротковолновой части спектра, несут большую энергию по сравнению с фотонами красного длинноволнового участка спектра.

Для осуществления фотосинтеза пигменты в тканях растений должны поглощать энергию фотонов нужных длин волн и затем использовать эту энергию для запуска цепи химических реакций фотосинтеза. Позднее мы покажем, что электрон отрывается от молекулы пигмента практически сразу после поглощения кванта света соответствующей энергии. Следует подчеркнуть, что фотон не может отдать свою энергию двум или большему числу электронов и, с другой стороны, энергии двух или нескольких фотонов не могут складываться для того, чтобы высвободить электрон. Следовательно, чтобы возбудить электрон молекулы пигмента и запустить процесс фотосинтеза, фотон должен иметь энергию, превышающую некоторую критическую величину. Этим объясняется низкая эффективность инфракрасного излучения для фотосинтеза растений: энергия кванта инфракрасного света слишком мала. Однако некоторые бактерии содержат пигменты, поглощающие инфракрас-

ное излучение: у этих организмов происходит процесс фотосинтеза, который в отличие от фотосинтеза у растений не приводит к выделению кислорода (см. гл. 7).

## 1.6. Единицы энергии

Согласно закону фотохимической эквивалентности, сформулированному Эйнштейном, одна молекула вступает в реакцию только при поглощении одного кванта света ( $h\nu$ ). Поэтому один моль (грамм-молекула) вещества должен поглотить  $N$  фотонов ( $N$  — число Авогадро, равное  $6,023 \cdot 10^{23}$ ), или  $N \cdot h\nu$  энергии, для того, чтобы каждая молекула могла вступить в реакцию. Общая энергия фотонов, поглощенных одним молем вещества, называется эйнштейн<sup>1</sup>.

Вычислим энергию моля квантов (т. е. энергию 1 эйнштейн, или  $6,023 \cdot 10^{23}$  фотонов) красного света с длиной волны 650 нм ( $6,5 \cdot 10^{-7}$  м). Частота  $\nu$  равна скорости света, деленной на длину волны:

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}}{6,5 \cdot 10^{-7} \text{ м}} = 4,61 \cdot 10^{14} \text{ с}^{-1}. \quad (1.4)$$

Искомая энергия  $E$  равна произведению числа молекул в моле на постоянную Планка и на частоту:

$$\begin{aligned} E = N \cdot h \cdot \nu &= 6,023 \cdot 10^{23} \cdot 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \cdot 4,61 \cdot 10^{14} \text{ с}^{-1} = \\ &= 18,40 \cdot 10^4 \text{ Дж} = \text{Энергия 1 эйнштейн красного} \\ &\text{света, т. е.} \end{aligned} \quad (1.5)$$

$$E = 18,40 \cdot 10^4 \text{ Дж} = \frac{18,40 \cdot 10^4}{4,184 \cdot 10^3} \text{ ккал} = 43,98 \text{ ккал} \quad (1.6)$$

(одна килокалория (1 ккал) =  $4,184 \cdot 10^3$  Дж). Итак, 1 моль красного света с длиной волны 650 нм содержит  $18,40 \cdot 10^4$  Дж энергии.

Энергию фотонов можно выразить также и в других единицах — электронвольт. Один электронвольт, 1 эВ, — это энергия, которую приобретает электрон, прошедший

<sup>1</sup> В фотобиологии и фотохимии единицу измерения эйнштейн часто используют для обозначения не энергии, а количества квантов: 1 эйнштейн = 1 моль квантов ( $N$  квантов, где  $N$  — число Авогадро). — Прим. ред.