

убывает с расстоянием по закону:

$$\Phi(x) = \Phi_0 e^{-\frac{4\pi\chi}{\lambda} x}. \quad (21.18)$$

Полученное соотношение выражает закон Бугера—Ламберта (21.3) и связывает коэффициент поглощения  $K$  с мнимой частью показателя преломления  $\chi$ :

$$K = \frac{4\pi\chi}{\lambda} = \frac{4\pi n\chi}{\lambda_0}. \quad (21.19)$$

Для металлов в случае видимого света  $n\chi > 1$  и

$$x_e = \frac{1}{K} = \frac{\lambda_0}{4\pi n\chi} \ll \lambda_0, \quad (21.20)$$

т. е. свет поглощается в тонком слое, меньшем длины волны, практически нацело. В диэлектриках величина  $\chi$  обычно очень мала и заметное поглощение наблюдается лишь вблизи резонансных частот (§ 6). Впрочем, для целого ряда диэлектриков резонансные частоты лежат в видимой области и такие вещества также непрозрачны для видимого света.

## § 22. Цвета тел. Спектральный состав излучения

Цвет тела представляет собой определенную субъективную характеристику лучистого потока, идущего от тела и поступающего в наш глаз. В основе ее лежит объективное свойство данного потока — его спектральный состав.

До некоторой степени аналогичные соотношения мы имели в акустике. В т. I, § 61 отмечалось, что основным физическим характеристикам звука (частота, сила звука) однозначно соответствуют определенные физиологические характеристики его восприятия (высота тона, громкость звука). В случае света по ряду причин такой однозначной связи между спектральным составом падающего излучения и вызываемым им ощущением цвета нет.

Следует отличать тела самосветящиеся от не самосветящихся. Солнце, электрическая лампа накаливания, разрядная трубка, светящаяся гнилушка, специальные светящиеся составы для покрытия циферблатов часов и других приборов, — все это примеры самосветящихся тел, в которых происходит непрерывное преобразование энергии теплового движения, электрической, химической или энергии продуктов радиоактивного распада в энергию излучаемых световых волн. Спектральный состав излучения самосветящихся тел вполне определенный и зависит от их состояния в данный момент, например от температуры накаливаемого тела. Постоянство спектрального состава излучения обуславливает определенный их цвет при неизменных условиях испускания.

Несамосветящиеся тела практически не излучают видимого света и в отсутствие внешнего источника представляются нам просто черными. Эти тела могут направлять в наш глаз лучистый поток, идущий от какого-нибудь светящегося источника, — отраженный от их поверхности, рассеянный ими или прошедший сквозь их толщу. Спектральный состав этого потока будет зависеть как от спектрального состава падающего на тело внешнего излучения, так и от способности тела в различной степени отражать и поглощать разные участки этого спектра. Поэтому цвет несамосветящегося тела зависит не только от его оптических свойств, но и от того, каким светом оно освещается. Так, например, если данное тело способно отражать только лучи красного цвета, то при освещении его зелеными лучами оно не будет ничего отражать и представится нам просто черным. Если же это тело освещать белым светом, содержащим в своем составе красные лучи, то оно отразит только последние и будет представляться нам красным.

Количественной характеристикой лучистого потока  $\Phi$  является полная энергия, переносимая им через единицу площади за единицу времени ( $вт/м^2$ , см. § 4). Эта энергия представляет собой сумму энергий, переносимых электромагнитными колебаниями различных длин волн  $\lambda$ . При этом глазом воспринимается лишь энергия волн видимого света, длины которых лежат в интервале от  $\lambda_{\text{фиол}} \approx 400 \text{ нм}$  до  $\lambda_{\text{красн}} \approx 760 \text{ нм}$ .

Разделим весь этот интервал на элементарные участки от  $\lambda$  до  $\lambda + d\lambda$ . Лучистый поток  $d\Phi_\lambda$ , переносимый электромагнитными волнами, длины которых лежат в данном участке, пропорционален его ширине  $d\lambda$ :

$$d\Phi_\lambda = f(\lambda) d\lambda. \quad (22.1)$$

Коэффициент пропорциональности  $f(\lambda)$ , представляющий собой лучистый поток, приходящийся на единицу интервала длин волн, различен в разных участках спектра. Такая кривая спектрального состава для некоторого конкретного излучения нарисована на рис. 1.121 в координатах  $f(\lambda)$  и  $\lambda$ . Площадь заштрихованной накрест полоски  $f(\lambda)d\lambda$  изображает величину элементарного лучистого потока в данном интервале длин волн  $d\Phi_\lambda$ . Полный лучистый поток в видимой области количественно определяется интегралом

$$\Phi_{\text{вид}} = \int_{\lambda_{\text{фиол}}}^{\lambda_{\text{красн}}} d\Phi_\lambda = \int_{\lambda_{\text{фиол}}}^{\lambda_{\text{красн}}} f(\lambda) d\lambda, \quad (22.2)$$

а на рис. 1.121 изображается суммарной заштрихованной площадью. Пунктиром на том же рисунке показано продолжение

кривой распределения спектрального состава  $f(\lambda)$  в область невидимых глазом ультрафиолетовых и инфракрасных лучей.

Форма кривой спектрального распределения  $f(\lambda)$  зависит от природы излучающего тела и его состояния.

Возбужденные атомы (одноатомные газы He, Ne, пары некоторых металлов — Na, Hg) испускают линейчатые спектры.

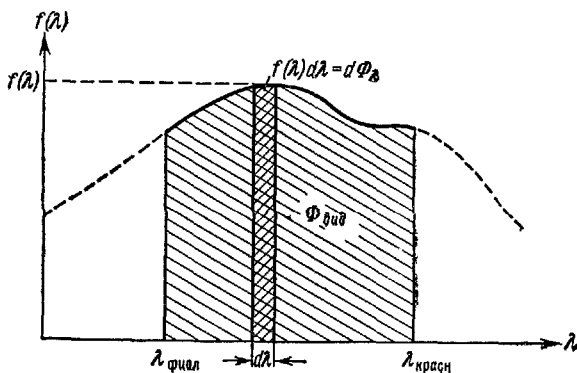


Рис. 1.121.

На рис. 1.122 изображен спектральный состав света, излучаемого парами натрия, возбужденными в электрической дуге. Этот спектр состоит из двух очень узких, близких друг к другу интенсивных линий, расположенных в желтой части спектра.

Возбужденные молекулы испускают полосатые спектры. Серии очень близких линий группируются на отдельных участках спектра и заполняют целые полосы, как показано на рис. 1.123.

Накаленные твердые тела испускают сплошной спектр типа, изображенного на рис. 1.121. С возрастанием температуры интенсивность излучения разных участков возрастает в различной степени и меняется вся форма кривой  $f(\lambda)$ . Подробнее к этому вопросу мы вернемся ниже, в гл. IX.

Таким образом, спектральный состав видимого излучения характеризуется не одним каким-либо числом, а всей функцией

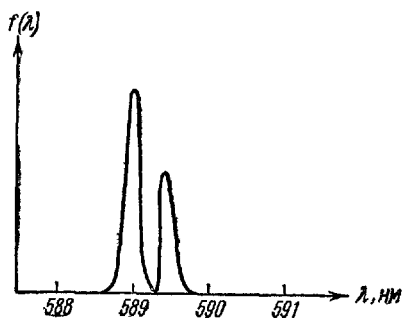


Рис. 1.122.

$f(\lambda)$ , т. е. бесчисленным множеством ее значений при всех длинах видимых волн

$$\lambda_{\text{фиол}} \leq \lambda \leq \lambda_{\text{красн.}} \quad (22.3)$$

Функцию  $f(\lambda)$  можно количественно измерить, пропуская излучение через спектральный аппарат (призму, дифракционную решетку) и пространственно разделяя лучи различных длин волн. Однако в наш глаз все эти лучи приходят совместно и вызывают в нем ощущение одного определенного цвета.

Слуховой аппарат человека представляет собой анализатор, состоящий из большого числа элементов, настроенных в резонанс, воспринимающих и выделяющих отдельные частоты акустических колебаний (тона).

Такая структура органов слуха возникла вследствие того, что в природе звучащие тела в значительной степени совершают гармонические колебания с определенными собственными частотами и издают звуки определенных тонов.

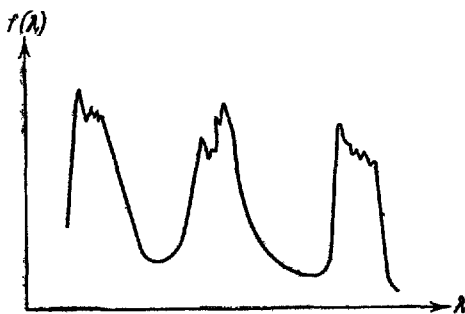


Рис. 1.123.

Спектральный состав солнечного излучения, доходящего через атмосферу до Земли, имеет характер, близкий к изображенному

на рис. 1.121, изменяется в зависимости от времени суток и атмосферных условий и не представляет собой совокупности небольшого числа отдельных монохроматических волн. В силу этих условий эволюция органов зрения пошла по пути, отличающемуся от эволюции органов слуха, и основные светочувствительные элементы глаза (колбочки и палочки) не являются анализаторами, настроенными в резонанс с определенными частотами излучения. Приходящий от определенного участка тела в наш глаз лучистый поток данного спектрального состава, определяемого видом функции  $f(\lambda)$ , вызывает определенные химические превращения зрительного пурпура и создает в мозгу единое впечатление цвета данного участка. При этом, ввиду определенных физиологических свойств глаза, связь между спектральным составом излучения и ощущением определенного цвета неоднозначна. Так, например, на рис. 1.124 изображены четыре различных спектральных распределения — линейчатых и сплошных, — вызывающих, как показывает опыт, одинаковое цветовое

ощущение. (По оси ординат откладываются относительные интенсивности.)

Цветовое зрение играет огромную роль в различении многочисленных деталей предметов. В художественной и красочной промышленности существенно воспроизводить вполне определенные

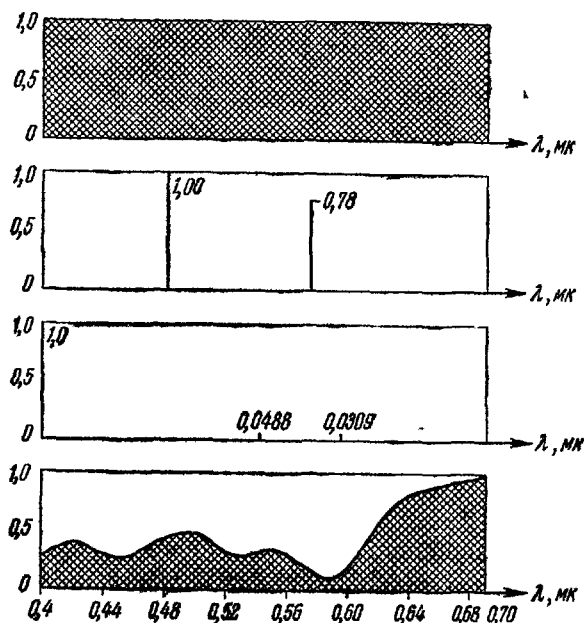


Рис. 1.124.

цвета и оттенки и давать их количественные характеристики. Для качественного и количественного химического анализа применяются различные цветовые реакции. Все эти обстоятельства настоятельно требовали дать количественные характеристики цветовых ощущений и тем самым дать настоящую научную базу цветоведению и цветовым измерениям (колориметрии).

Детальный механизм цветового зрения не установлен до настоящего времени. Экспериментальные определения в колориметрии, так же как и в фотометрии, основаны на визуальном сравнении двух соседних окрашенных полей зрения. Если глаз перестает различать границу между обоими полями, то оба цвета одинаковы. Имея в своем распоряжении альбомы цветов, содержащие сотни перенумерованных оттенков, колористы имеют возможность сопоставлять и точно указывать нужные цвета.

Подробные измерения показали, что, имея в своем распоряжении три каких-либо цвета, выбранных за основные (например, синий, желтый и красный), можно их смешением получить любой другой цвет. Если обозначить основные цвета через  $X$ ,  $Y$  и  $Z$ , то любой цвет  $T$  представляется их суммой с определенными коэффициентами

$$T = xX + yY + zZ. \quad (22.4)$$

Вводя оси координат  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ , можно тогда данный цвет  $T$  изобразить точкой с координатами  $(x, y, z)$  в трехмерном пространстве. В этом смысле говорят, что цветное зрение имеет три измерения. Эта трехмерность цветного зрения широко используется в цветной фотографии и телевидении и, по-видимому, связана с наличием трех типов воспринимающих цвета компонент зрительного пурпура и определенным характером объединения в мозгу раздражений окончаний зрительного нерва.

Как показывает рис. 1.124, для воспроизведения одного из основных цветов нет необходимости выделять строго монохроматическую волну, а можно пользоваться любым из спектральных распределений, создающих одинаковое цветовое ощущение. Следует также отметить, что чисто монохроматические световые волны (цвета радуги) не исчерпывают всех возможных цветов, определяемых уравнением (22.4). Комбинируя, согласно этому правилу, три основных цвета,  $X$ ,  $Y$  и  $Z$ , можно получать пурпурные цвета, не соответствующие ни одному из цветов радуги.

---