

Под коэффициентом теплопоглощения A понимают правильную дробь, показывающую, какая часть энергии, излученной черным телом и падающей на поверхность данного тела, поглощается данным телом (учитывается энергия лучей в с е х ч а с т о т). Повторяя приведенные выше рассуждения, мы найдем, что (суммарная для всех частот) энергия E , излучаемая нечерным телом, во столько раз меньше энергии \mathcal{E} , излучаемой черным телом той же температуры, во сколько раз коэффициент теплопоглощения данного тела меньше единицы:

$$E = A \cdot \mathcal{E}. \quad (8)$$

Это интегральный закон Кирхгофа¹⁾.

Интегральный закон Кирхгофа позволяет применить закон Стефана — Больцмана к излучению нечерных тел; получается:

$$E = A \sigma T^4. \quad (9)$$

Здесь E — количество энергии, излучаемой 1 см^2 поверхности тела в 1 сек , A — коэффициент теплопоглощения, σ — константа Стефана.

Для серых тел (для тел, одинаково поглощающих лучи различной цветности) коэффициент A легко может быть определен опытным путем, так как в этом случае он совпадает с коэффициентом лучепоглощения. Но для всех остальных тел имеются трудности в точном определении коэффициента A .

Важно, однако, что во всех случаях (за исключением черных тел, когда $A \approx 1$) коэффициент A сам в сильной мере зависит от температуры тела; обычно при повышении температуры коэффициент теплопоглощения быстро возрастает, и поэтому лучеиспускательная способность тела растет не по закону пропорциональности четвертой степени абсолютной температуры, а по более сложному закону, например пропорционально пятой степени T , а при более высокой температуре (для того же тела) — пропорционально шестой степени T и т. д.

Как было указано в томе I (§ 90, 1959 г.; в пред. изд. § 94), на практике часто пользуются некоторыми средними значениями коэффициента теплопоглощения.

§ 51. Приемники излучения

Качество каждого источника излучения оценивается не абсолютно, а по отношению к воспринимающему излучение приемнику. Существует большое количество самых различных приемников излучения. Наиболее важные из них: термоэлементы, фотоэлементы,

¹⁾ Согласно интегральному закону Кирхгофа какое-либо нечерное тело при заданной температуре излучает тем большее количество энергии, чем больше его коэффициент теплопоглощения A ; поэтому коэффициент A часто называют излучательной способностью тела.

фотопластинки, листья растений и, наконец, глаза животных и человека.

Поглощенная приемником лучистая энергия обычно превращается в другие виды энергии. В термоэлементах и фотоэлементах происходит превращение в электрическую энергию; в остальных указанных случаях поглощенное излучение вызывает химические реакции, т. е. энергия излучения переходит в энергию химических связей.

Важным свойством приемника лучистой энергии является его чувствительность к разным длинам волн падающего излучения.

Наиболее «безразличный» приемник — *термоэлемент*. Нагрев термоэлемента, а следовательно, и даваемый им ток пропорциональны энергии падающих на него лучей и в широком спектральном диапазоне не зависят от длины волны. Поэтому термоэлементы широко применяются для измерения энергии излучения (т. II, § 32, 1959 г.; в пред. изд. § 39).

На рис. 185 изображен термоэлемент, применяемый для измерения лучистой энергии. Излучение попадает на спай или на кусочек прикрепленной к нему фольги, покрытой платиновой чернью, нагревает спай и вызывает термоток. Для большей чувствительности термоэлемент делается из очень тонких (толщина порядка микрона) полосок металлов (манганин и константан) и помещается в откачанную колбу. Первые вакуумные термоэлементы были изобретены П. Н. Лебедевым. Пользуясь термоэлементом, мы можем сравнивать энергию разных длин волн в спектре и, предварительно прогадуировав его, определять абсолютное значение энергии излучения в эргах. Чувствительность таких термоэлементов — порядка 5 мкв на 1 мквт мощности падающего излучения.

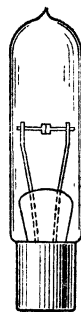


Рис. 185. Чувствительный термоэлемент для измерения лучистой энергии.

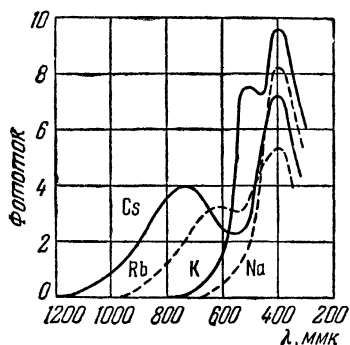


Рис. 186. Спектральные характеристики катодов кислородно-цезиевого типа с различными щелочными металлами.

Фотоэлементы (т. II, § 54, 1959 г.; в пред. изд. § 96) обладают резко выраженной зависимостью чувствительности от длины волны падающего излучения. На рис. 186 изображены типичные кривые спектральной чувствительности фотоэлементов.

По оси абсцисс отложены длины волн падающего на фотоэлемент излучения, а по оси ординат — фототоки, даваемые фотоэлементом при постоянной энергии падающих лучей. Из кривых рис. 186

видно, что фототок зависит не только от энергии падающего излучения, но и от его спектрального состава. Любопытно отметить, что при освещении плоского фотоэлемента поляризованным светом наблюдается сильное изменение формы кривой спектральной чувствительности в зависимости от угла между плоскостью поляризации и плоскостью падения (рис. 187).

Светочувствительный слой фотопластинок и киноплёнок представляет собой тонкую желатиновую плёнку, внутри которой

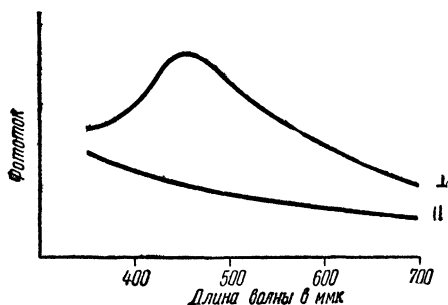


Рис. 187. Влияние поляризации света на спектральную чувствительность фотокатода.

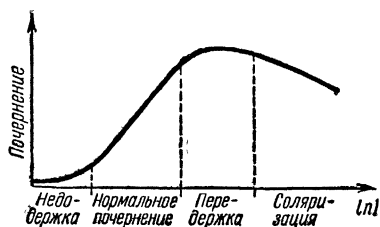


Рис. 188. Характеристическая кривая фотолампочки.

находятся микроскопические кристаллики бромистого серебра — эмульсионные зерна.

Под действием света эти зерна приобретают способность превращаться в металлическое серебро. Но само превращение зерен в металлическое серебро происходит только при помещении фотопластинки в специальный раствор, называемый проявителем (рис. VII в конце книги). Металлическое серебро выделяется в виде мелких частиц и имеет черный цвет (рис. VIIa). После проявления пластинку помещают в раствор, называемый закрепителем или фиксацией. В закрепителе происходит удаление всего неразложившегося бромистого серебра, оставшегося в эмульсии. В результате получается негатив — фотопластинка или пленка, у которой освещавшиеся места содержат металлическое серебро и поглощают свет, а неосвещавшиеся места совершенно прозрачны.

Почернением фотографической пластинки называют ее оптическую плотность (§ 46). На рис. 188 изображена характеристическая кривая фотолампочки, представляющая зависимость почернения от логарифма количества падающего на пластинку света.

Мы видим, что почернение очень сложным образом зависит от интенсивности света. При малых количествах света (недодержка) почернение медленно растет с интенсивностью, затем имеется прямолинейный участок кривой (область нормального почернения); при слишком большом засвечивании наблюдается уже насыщение (передержка) и, наконец, даже уменьшение почернения (соляри-

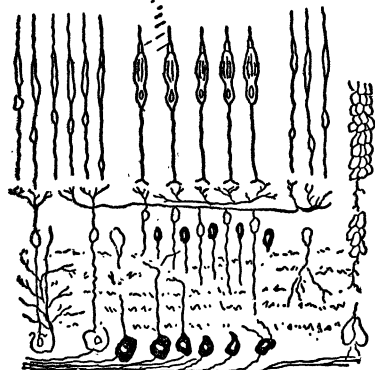
зация). При этом, конечно, играют роль и интенсивность света, и продолжительность освещения.

Фотографические пластинки обладают резкой зависимостью чувствительности от длины волны падающего излучения. На рис. 189 изображены типичные кривые спектральной чувствительности фотопластинок. В светочувствительный слой вводятся специальные вещества — *сенсibiliзаторы*, повышающие чувствительность и улучшающие форму кривой спектральной чувствительности. Мы видим, что у сенсibilизованных изопанхроматических пластинок уже довольно постоянная чувствительность в области от 650 до 450 мк. Следует указать, однако, на наличие у всех пластинок минимума («провала») чувствительности в зелено-голубой части спектра, около 500 мк.

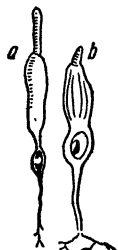
Человеческий глаз как приемник лучистой энергии обладает весьма своеобразными характеристиками, имеющими большое практическое значение.

На рис. 22 (стр. 47) изображен разрез человеческого глаза. Падающий на глаз свет фокусируется хрусталиком (§ 11) на *сетчатку*.

Сторона, обращенная к сосудистой оболочке



Сторона, обращенная к стекловидному телу



*a—Палочка
b—Колбочка*

Рис. 190. Строение сетчатки глаза.

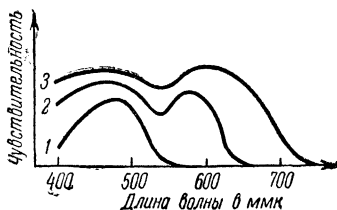


Рис. 189. Кривые спектральной чувствительности фотопластинок: 1 — обычная эмульсия; 2 — ортохроматическая эмульсия; 3 — изопанхроматическая эмульсия.

Под действием света светочувствительное вещество сетчатки разлагается. По мере воздействия света на глаз запас светочувствительного вещества уменьшается и соответственно понижается чувствительность глаза к свету. Наоборот, по мере пребывания в темноте

это вещество восстанавливается и чувствительность глаза повышается. Кроме того, в темноте зрачок глаза расширяется, а на свету сужается. Леонардо да Винчи писал: «Природа поступает здесь как тот, у кого в помещении слишком много света и кто закрывает половину окна, больше или меньше, смотря по надобности». Приспособление глаза к свету и темноте носит название *световой* или *темновой адаптации*¹⁾. Благодаря адаптации чувствительность глаза может изменяться в сотни тысяч раз.

Фотохимическую теорию темновой адаптации разработал П. П. Лазарев.

Мы видим, каким гибким приемником излучения является человеческий глаз. Вместе с тем мы видим, насколько субъективны

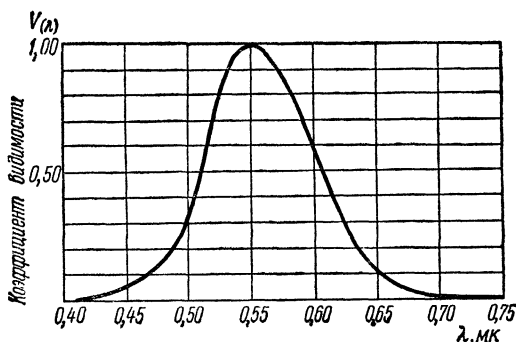


Рис. 191. Кривая видимости.

должны быть оценки яркости, даваемые на основании просто зрительного впечатления.

Чувствительность человеческого глаза к различным длинам волн различна.

Из всего падающего излучения глаз воспринимает лишь узкую область спектра от 400 до 770 мкм, называемую *видимым спектром*. Эта область определяется чувствительностью сетчатки и прозрачностью тех сред, которые приходится проходить излучению в глазе. Интересно, что люди с удаленным хрусталиком глаза хорошо видят довольно коротковолновые ультрафиолетовые лучи (до 0,3 мк).

Даже в пределах видимого спектра чувствительность глаза неодинакова. При дневном зрении наибольшей чувствительностью глаз обладает для длины волны $\lambda = 556$ мкм. Условно считают, что вся радиация этой длины волны воспринимается глазом в виде света. Коэффициенты видимости $V(\lambda)$ для остального спектра изобразятся кривой, представленной на рис. 191. Например, одна

¹⁾ От лат. adaptatio — приспособление.

и та же мощность излучения при длинах волн 0,556 и 0,500 мк воспринимается глазом в виде яркостей, относящихся, как 1 : 0,323.

Существенно, что глаз обладает резким *порогом чувствительности* и не воспринимает световых потоков, меньших некоторой предельной величины.

В состоянии полной темновой адаптации глаз реагирует, согласно С. И. Вавилову, на световую энергию порядка 10^{-10} эрг.

При слабом освещении (сумеречное зрение) вся кривая чувствительности смещается в коротковолновую часть спектра (рис. 192) и максимум чувствительности приходится примерно на 510 мкм. Вследствие этого при сумеречном зрении голубые тона кажутся относительно более яркими (*явление Пуркинье*). Хорошим примером

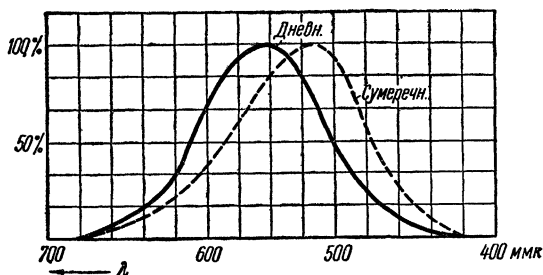


Рис. 192. Явление Пуркинье.

явления Пуркинье может служить сравнение светлоты двух цветков: красного мака и василька. Днем они кажутся по своей светлоте почти одинаковыми. При наступлении сумерок красный мак начинает казаться почти черным и гораздо более темным, чем василек, становящийся светло-серым.

Такая изменчивость характеристик глаза заставляет нас быть очень осторожными при различных световых измерениях, производимых с помощью глаза.

Все световые характеристики, о которых мы будем говорить дальше, будут относиться к условиям дневного зрения «среднего» глаза.

Способность человеческого глаза различать цвета чрезвычайно обогатит наше восприятие внешнего мира.

В. И. Ленин в книге «Материализм и эмпириокритицизм» неоднократно приводит цветное зрение как пример, подтверждающий справедливость основных положений диалектического материализма. Ленин пишет: «... цвет есть результат воздействия физического объекта на сетчатку = ощущение есть результат воздействия материи на наши органы чувств». И далее: «Ибо раз вы признали, что источник света и световые волны существуют *независимо* от

человека и от человеческого сознания, цвет зависит от действия этих волн на сетчатку, — то вы фактически встали на материалистическую точку зрения...».

В настоящее время общепринята трехкомпонентная теория цветового зрения, согласно которой восприятие любого цвета складывается из восприятий трех основных цветов: красного, зеленого и синего, смешанных в соответствующих пропорциях. Художники практически пользуются этой теорией уже очень давно, но только недавно (1947 г.) Грант доказал прямыми электрофизиологическими опытами ее справедливость.

Наиболее интересным практическим применением трехцветной теории явилось создание цветной фотографии и, особенно, цветной кинематографии. Поясним действие фотопленки для цветной фотографии. На рис. VIII в конце книги, изображен разрез такой пленки: 1 — первый светочувствительный слой, состоящий из несенсибилизированной эмульсии, чувствительной только к синим лучам; 2 — тонкий слой желтоокрашенного желатина, играющего роль светофильтра, не пропускающего синих лучей; 3 — второй светочувствительный слой ортохроматической эмульсии, чувствительной к желто-зеленым лучам; 4 — третий светочувствительный слой из эмульсии, чувствительной к красным лучам. Второй и третий светочувствительные слои чувствительны, конечно, и к синим лучам, но их не пропускает желтый светофильтр.

Таким образом, сочетание слоев с разной спектральной чувствительностью и светофильтра позволяет произвести цветоделение света, падающего на пленку. При проявлении в обычном проявителе в пленке получается три негатива: в первом слое негатив, соответствующий изображению предмета в синих лучах, во втором слое — в желто-зеленых и в третьем слое — в красных лучах. Однако при этом никакого цветного изображения не возникнет, ибо все три негатива будут черными. Для получения цветного изображения необходимо применить так называемое *цветное проявление*. Цветное проявление основано на том, что продукты окисления проявляющего вещества, возникающие при восстановлении серебра, могут, соединяясь с определенными другими веществами (*цветными компонентами*), образовывать красители.

В каждый светочувствительный слой вводят соответствующую цветную компоненту, и в результате цветного проявления каждый слой окрашивается в свой цвет. Верхний слой становится желтым, средний пурпурным и нижний голубым. Все цвета обращены, ибо речь идет о негативе, так же как в черно-белом негативе черное становится белым и наоборот. Затем производится отбеливание, т. е. растворение металлического серебра и обесцвечивание желатинового желтого слоя. С полученного цветного негатива получают позитив на фотопленке или на бумаге, которые также обладают трехслойной эмульсией (рис. IX и X в конце книги).