

ГЛАВА IX ТЕПЛОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

§ 30. Испускание и поглощение света. Тепловое излучение

Если на какое-либо тело падает поток излучения Φ_0 (рис. 1.135), то часть потока $\Phi_{отр} < \Phi_0$ отражается от поверхности тела обратно: от гладкой поверхности зеркально, а от матовой — диффузно во все стороны. При не слишком большой толщине тела часть падающего света пройдет насквозь и за телом будет наблюдаться поток излучения $\Phi_{прох} < \Phi_0$. Наконец, часть потока, проникающего в тело,

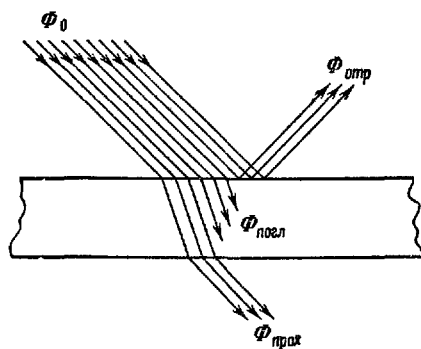


Рис. 1.135.

будет поглощаться частицами последнего и превращаться в другие формы энергии, в конечном счете — в тепло. Обозначая эту часть через $\Phi_{погл}$, можно составить общий баланс энергии:

$$\Phi_0 = \Phi_{отр} + \Phi_{погл} + \Phi_{прох}. \quad (30.1)$$

Разделив обе части этого равенства на Φ_0 , получим:

$$1 = \frac{\Phi_{отр}}{\Phi_0} + \frac{\Phi_{погл}}{\Phi_0} + \frac{\Phi_{прох}}{\Phi_0}. \quad (30.2)$$

Безразмерное отношение $\rho = \frac{\Phi_{отр}}{\Phi_0}$ называется **лучеотражательной** или просто **отражательной способностью** тела (коэффициент отражения). Отношение $a = \frac{\Phi_{погл}}{\Phi_0}$ называется **лучепоглощательной способностью** тела. Наконец, отношение $D = \frac{\Phi_{прох}}{\Phi_0}$ можно назвать **лучепропускательной способностью** тела. Согласно (30.2), эти три коэффициента связаны между собой соотношением

$$1 = \rho + a + D. \quad (30.3)$$

Величина D , характеризующая прозрачность тела, зависит от толщины последнего. При достаточной толщине любое тело практически непрозрачно (см. § 21). Большинство твердых тел непрозрачно уже при сравнительно небольшой толщине. В этом случае можно считать, что $D = 0$ и

$$1 = \rho + a. \quad (30.4)$$

Отражательная способность ρ такого тела зависит от его строения и состояния и от характера обработки поверхности (гладкая или матовая). Из уравнения связи (30.4) следует, что лучепоглощательная способность тела a однозначно связана с ρ и определяется теми же факторами.

Если частота колебаний падающей электромагнитной волны ν совпадает с одной из собственных частот колебаний электрических зарядов, составляющих тело ν_1 , то наступит резонанс и амплитуда колебаний этих зарядов сильно возрастет. С увеличением амплитуды колебаний возрастает вероятность перехода их энергии в тепловую при столкновениях. Поэтому в области, близкой к резонансу, увеличивается коэффициент объемного поглощения K и такие волны проникают в тело на очень малую глубину (§ 21).

С другой стороны, увеличение амплитуды приводит к усиленному излучению колеблющимися зарядами электромагнитных волн той же частоты во все стороны и, в частности, в направлении, противоположном распространению падающей волны. Поэтому в резонансной области увеличивается коэффициент отражения ρ и полное поглощение поверхностью тела, т. е. лучепоглощательная способность a , может снижаться. Так, при отражении электромагнитных волн, обладающих непрерывным спектром, от поверхности какого-либо ионного кристалла преимущественно отражаются волны резонансных частот. При многократном отражении от одного и того же кристалла выходящий пучок содержит практически только эти частоты (остаточные лучи).

Приведенный пример показывает физическое различие между объемным коэффициентом поглощения K и лучепоглощательной способностью поверхности тела a . Кроме того, из него видно, что лучепоглощательная способность тела зависит от частоты ν падающего излучения или от его длины волны $\lambda = \frac{c}{\nu}$. Обозначим через $a_{\lambda, T}$ лучепоглощательную способность тела для излучения данной длины волны λ при температуре T , характеризующей состояние тела. Отражательную способность тела при той же температуре и для той же длины волны обозначим соответственно через $\rho_{\lambda, T}$. Тогда соотношение (30.4) можно переписать в виде:

$$\rho_{\lambda, T} = 1 - a_{\lambda, T}. \quad (30.5)$$

Зависимость $a_{\lambda, T}$ и $\rho_{\lambda, T}$ от длины волны λ обуславливает окраску освещаемых тел. Как указывалось в § 22, если какое-либо тело интенсивно поглощает все падающие на него лучи, кроме, например, зеленых ($\lambda_{зел} \approx 500 \text{ нм}$), то при освещении его белым светом оно будет отражать только зеленые лучи, т. е. иметь зеленую окраску. Следует отметить, что при освещении такого тела монохроматическим, но не зеленым светом, такое тело ничего не отражает и будет представляться просто черным.

Тело, которое абсолютно не поглощало бы излучение и полностью отражало все падающие на него лучи

$$a_{\lambda, T} = 0 \quad \text{и} \quad \rho_{\lambda, T} = 1, \quad (30.6)$$

называется **абсолютно белым телом**. Наблюдаемый цвет такого тела полностью определяется спектральным составом освещающего его излучения.

Тело, полностью поглощающее все падающее на него излучение, называется **абсолютно черным телом**. Для абсолютно черного тела

$$a_{\lambda, T} = 1 \quad \text{и} \quad \rho_{\lambda, T} = 0. \quad (30.7)$$

При освещении такого тела посторонним источником света оно не будет ничего отражать и представится нам черным. Например, для сажи в видимой области $a_{\lambda, T} \approx 0,99$, что и обуславливает черный цвет последней. Все же сажу нельзя считать абсолютно черным телом вообще, так как в инфракрасной области спектра ее поглощательная способность уменьшается.

Тело, поглощательная способность которого меньше единицы, но одинакова для всех длин волн:

$$a_{\lambda, T} = \text{const} < 1, \quad (30.8)$$

называется **серым телом**.

Наряду с отражением и поглощением падающего на них излучения все тела сами способны испускать электромагнитные волны — светиться. Причины такого свечения многообразны. Кусок сахара слабо светится при раскалывании. При расчесывании волос в темной комнате наблюдаются светящиеся искорки. Газ в разрядной трубке светится при прохождении электрического тока. Стеклоаная стенка этой трубки испускает зеленое свечение под действием ударов электронов. Кусочек фосфора, окисляющийся на воздухе, светится вследствие протекающей химической реакции и т. п. Все эти случаи свечения тел при различном внешнем воздействии мы объединяем под общим названием **люминесценции**.

В отличие от явлений люминесценции, *свечение тел при их нагревании называется температурным или тепловым излучением*. В этом случае энергия внутренних хаотических тепловых движе-

ний частиц тела (при $T > 0^\circ \text{K}$) непрерывно переходит в энергию испускаемого электромагнитного излучения. В настоящей главе мы рассмотрим законы этого теплового излучения.

Основной количественной характеристикой теплового излучения тела является его лучеиспускательная способность e_T , т. е. лучистая энергия, испускаемая единицей поверхности тела за единицу времени ($\text{эрг}/\text{см}^2 \cdot \text{сек}$ или $\text{дж}/\text{м}^2 \cdot \text{сек} = \text{вт}/\text{м}^2$) при температуре тела T . Эта энергия уносится с электромагнитными волнами различной длины ($0 \leq \lambda \leq \infty$) и для излучения целесообразно полную лучеиспускательную способность тела e_T расчленить на составные части по отношению к различным длинам волн.

Энергия электромагнитных волн с длиной волны от λ до $\lambda + d\lambda$, испускаемая единицей поверхности излучающего тела за единицу времени, пропорциональна величине выделенного интервала длин волн:

$$de_T = e_{\lambda, T} d\lambda. \quad (30.9)$$

Коэффициент пропорциональности $e_{\lambda, T}$ есть лучеиспускательная способность тела при данной температуре T и для данной длины волны λ , и имеет размерность $\text{вт}/\text{м}^2 \cdot \text{м} = \text{вт}/\text{м}^3$ (т. е. рассчитывается на единицу интервала длин волн $d\lambda = 1$).

Полная лучеиспускательная способность тела e_T складывается из элементарных de_T , т. е.

$$e_T = \int de_T = \int_{\lambda=0}^{\lambda=\infty} e_{\lambda, T} d\lambda, \quad (30.10)$$

где интеграл распространен на весь бесконечный интервал всевозможных длин волн.

Примерный вид спектральной характеристики теплового излучения $e_{\lambda, T}$ при некоторой температуре T изображен на рис. 1.136. Заштрихованная накрест полоска имеет площадь $e_{\lambda, T} d\lambda$ и представляет собой энергию de_T , излучаемую в данном интервале длин волн $d\lambda$. Полная лучеиспускательная способность e_T изображается на рис. 1.136 всей заштрихованной площадью.

С ростом температуры увеличивается интенсивность теплового движения частиц тела и возрастает энергия, излучаемая телом с электромагнитными волнами любых λ . Поэтому при $T' > T$ вся спектральная характеристика теплового излучения поднимается, как это изображено на рис. 1.136 пунктиром. Возрастает при этом и площадь под кривой $e_{\lambda, T}$, т. е. полная лучеиспускательная способность тела e_T . При абсолютном нуле температуры ($T = 0^\circ \text{K}$) тепловое движение отсутствует и

$$e_{\lambda, 0} \equiv 0, \quad (30.11)$$

т. е. тело не может далее уменьшать своей энергии и его тепловое излучение прекращается.

Каждое тело при данной температуре характеризуется своей кривой лучеиспускательной способности в различных частях

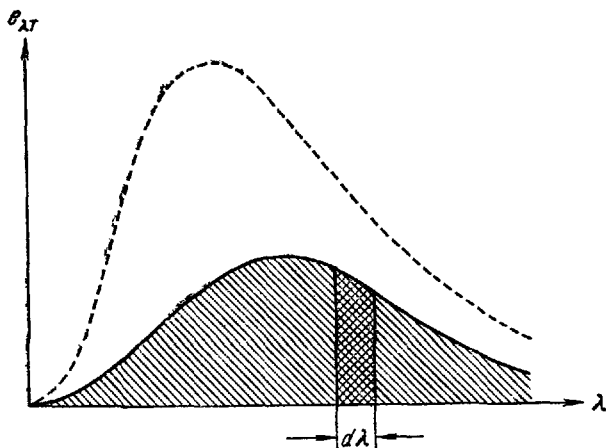


Рис 1.136.

спектра $e_{\lambda, T}$ и своим значением полной (или интегральной) лучеиспускательной способности e_T . Как указывалось в § 22, жидкости и твердые тела дают сплошной спектр испускания, аналогично изображенному на рис. 1.136, а нагретые газы и пары испускают линейчатые и полосатые спектры.

§ 31. Закон Кирхгофа. Излучение абсолютно черного тела

При тепловом излучении энергия теплового движения в теле переходит в энергию испускаемых электромагнитных волн. При поглощении света происходит обратный процесс перехода лучистой энергии в тепловую энергию тела. В обоих случаях взаимные превращения тепловой и лучистой энергии протекают через промежуточную стадию колебания электрических зарядов в теле. Поэтому лучеиспускательная и лучепоглощательная способности тела обусловлены одними и теми же деталями его строения и тесно связаны друг с другом. Для установления этой связи применимы термодинамические методы исследования.

Представим себе произвольное тело в виде бесконечной однородной пластины 1 (рис. 1.137). Расположим параллельно ему такую же пластину 2, вырезанную из абсолютно черного тела. При данной температуре T нечерное тело характеризуется определен-