

абсолютной температуры (закон Стефана — Больцмана, т. I, § 90, 1959 г.; в пред. изд. § 94):

$$\mathcal{E} = \sigma T^4, \quad U = aT^4, \quad (5)$$

где

$$a = 4 \frac{\sigma}{c} = 7,62 \cdot 10^{-15} \frac{\text{эрг}}{\text{см}^3 \cdot \text{град}^4}.$$

Аналогично величине  $\mathcal{E}_{\nu, \nu+d\nu}$  введем плотность спектральной компоненты излучения  $U_{\nu, \nu+d\nu}$ , это та часть энергии, содержащейся в каждом кубическом сантиметре равновесного излучения, которая приходится на долю лучей, имеющих частоты от  $\nu$  до  $\nu+d\nu$ . Между величинами  $U_{\nu, \nu+d\nu}$  и  $\mathcal{E}_{\nu, \nu+d\nu}$  существует точно такое же соотношение, как и между суммарными величинами  $U$  и  $\mathcal{E}$ . Поэтому формула Планка, написанная для плотности энергии спектральной компоненты равновесного излучения, будет иметь следующий вид:

$$U_{\nu, \nu+d\nu} = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} d\nu. \quad (6)$$

## § 50. Излучение нечерных тел. Законы Кирхгофа

Излучение может быть вызвано не одним только нагреванием, но и другими причинами, например электрическим разрядом, химической реакцией, флуоресценцией под действием лучей Рентгена и т. д. Здесь, как и ранее, мы будем говорить только о температурном излучении. Выводы данного параграфа, как и предыдущего, неприменимы к остальным видам излучения.

Возьмем любое не черное тело, например кусок металла, дерева, стекла. Количество энергии, излучаемой  $1 \text{ см}^2$  поверхности этого тела в  $1 \text{ сек}$ , обозначим через  $E$  в отличие от  $\mathcal{E}$ , означающего аналогичную величину для абсолютно черного тела. Под  $E_{\nu, \nu+d\nu}$  (аналогично величине  $\mathcal{E}_{\nu, \nu+d\nu}$ , относящейся к черному телу) будем подразумевать ту часть указанного количества энергии, которая приходится на долю лучей, имеющих частоты от  $\nu$  до  $\nu+d\nu$ .

Под коэффициентом лучепоглощения  $A_\nu$  мы условимся понимать дробь, показывающую, какая часть падающей на поверхность тела энергии лучей определенной цветности поглощается телом. Понятно, что чем ближе тело подходит по своим свойствам к абсолютно черному телу, тем ближе  $A_\nu$  (для всех частот) к единице; для идеального зеркала  $A_\nu = 0$ .

Поскольку  $A_\nu$  указывает долю поглощенной энергии, то, очевидно,  $1 - A_\nu$  определяет долю отраженной энергии (для непрозрачного тела).

Выше было доказано, что равновесное излучение любого тела тождественно по своему составу с излучением черного тела. Обратимся к рис. 182 и 183 и фиксируем внимание на левых частях этих

рисунков, где схематически изображено тело, окруженное своим равновесным излучением. Поставим своей ближайшей задачей написать условия равновесия применительно к спектральной компоненте излучения, характеризуемой частотами, лежащими в пределах от  $\nu$  до  $\nu + d\nu$ .

На каждый квадратный сантиметр поверхности рассматриваемого нами (произвольно выбранного) *нечерного* тела в 1 сек падает в области указанных частот энергии  $\mathcal{E}_{\nu, \nu+d\nu}$ . Часть этой энергии, а именно  $A_\nu$ -я доля, поглощается телом; другая часть, а именно энергия  $(1 - A_\nu) \mathcal{E}_{\nu, \nu+d\nu}$ , отражается поверхностью тела. Чтобы равновесие имело место, очевидно, необходимо, чтобы эта отраженная поверхностью тела энергия  $(1 - A_\nu) \mathcal{E}_{\nu, \nu+d\nu}$  в сумме с энергией, излучаемой (в области тех же частот) самим телом, т. е. в сумме с энергией  $E_{\nu, \nu+d\nu}$ , была в точности равна энергии  $\mathcal{E}_{\nu, \nu+d\nu}$ , падающей на тело:

$$E_{\nu, \nu+d\nu} + (1 - A_\nu) \cdot \mathcal{E}_{\nu, \nu+d\nu} = \mathcal{E}_{\nu, \nu+d\nu}.$$

Совокупность таких равенств, написанных последовательно для всех областей частот, и является необходимым и достаточным условием равновесия. Легко видеть, что члены  $\mathcal{E}_{\nu, \nu+d\nu}$ , стоящие и в левой и в правой частях равенства, взаимно уничтожаются. Таким образом, условием равновесия является совокупность (для всех частот) следующих уравнений:

$$E_{\nu, \nu+d\nu} = A_\nu \cdot \mathcal{E}_{\nu, \nu+d\nu}. \quad (7)$$

Учитывая, что величина  $A_\nu$  (коэффициент лучепоглощения) представляет собой правильную дробь, мы должны заключить отсюда, что для любой области спектра излучение  $E_{\nu, \nu+d\nu}$  нечерного тела всегда меньше, чем излучение  $\mathcal{E}_{\nu, \nu+d\nu}$  абсолютно черного тела той же температуры. Чем больше коэффициент лучепоглощения некоторого тела для данной области спектра, тем большее количество энергии излучает тело в этой области спектра<sup>1)</sup>. Если тело не поглощает каких-либо лучей, то оно и не испускает их.

Уравнение (7) носит название дифференциального закона Кирхгофа. Закон Кирхгофа устанавливает, следовательно, что *всякое тело поглощает преимущественно те лучи, которые оно в наибольшей мере само излучает*.

Обычно коэффициент лучепоглощения  $A_\nu$  бывает неодинаков для различных участков спектра. Если у некоторого тела коэффициент лучепоглощения один и тот же для лучей всех «цветностей» (всех частот) и если он меньше единицы, то такое тело называют *абсолютно серым* (случай  $A_\nu = 1$  при всех  $\nu$  соответствует абсолютно черному телу).

<sup>1)</sup> Поэтому коэффициент лучепоглощения  $A_\nu$  называют также *монохроматической излучательной способностью тела*.

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) энергии  $E$ , 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 Кирхгофа<sup>1)</sup>.

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  $1 \text{ см}^2$  поверхности тела в  $1 \text{ сек}$ ,  $A$  — коэффициент теплопоглощения,  $\sigma$  — 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 лучеиспускающая 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,

<sup>1)</sup> 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.