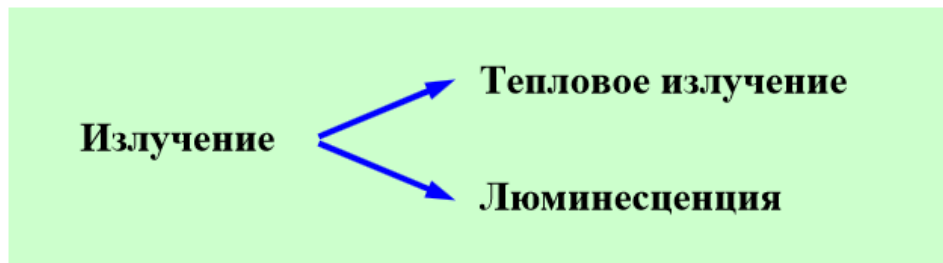


## 34. Тепловое излучение. Энергетические характеристики теплового излучения. Законы Кирхгофа, их термодинамическое обоснование

### Тепловое излучение

Из повседневной жизни известно, что любые нагретые тела излучают энергию, а тела, на которые падает излучение, нагреваются в результате поглощения этой энергии, т. е. их внутренняя энергия увеличивается.



Тепловыми источниками являются: Солнце, пламя огня, лампа накаливания.

Электромагнитное излучение, возникающее за счет внутренней энергии излучающего тела и зависящее от температуры и оптических свойств этого тела, называют *тепловым излучением*.

Тепловое излучение свойственно всем телам при температурах выше абсолютного нуля. Тепловое излучение имеет сплошной спектр.

Тепловое излучение представляет большой практический интерес, т.к. является единственным видом излучения, которое может находиться в состоянии термодинамического равновесия с нагретыми телами.

*Равновесное излучение* - излучение, находящееся в равновесии с излучающими телами.

Если несколько нагретых излучающих тел окружить идеально отражающей оболочкой, то внутри оболочки установится термодинамическое равновесие, т.е., температуры всех тел станут равными, а распределение энергии между телами и излучением не будет изменяться со временем.

Температурное (тепловое) излучение играет важнейшую роль в жизни и деятельности человека. Сама жизнь на Земле произошла и развивается благодаря воздействию потоков лучистой энергии нашего Солнца. Классическая физика не могла объяснить излучение отдельных атомов и нагретых тел.

Кирхгоф ввел представление об *абсолютно черном теле*, излучение которого не зависит от его физических и химических свойств, от его состава, а зависит только от его температуры. Такое тело способно полностью поглощать излучение любой длины волны (частоты). В природе абсолютно черного тела не существует, но есть близкие ему по свойствам (сажа, черный бархат). Моделью абсолютно черного тела служит полость с небольшим отверстием, внутренняя поверхность которой зачернена.



## Энергетические характеристики теплового излучения

1. *Спектральная плотность энергетической светимости (излучательная способность)* – количество энергии, излучаемой с единицы площади поверхности тела в 1 секунду, в единичном интервале длин волн (частот) при данной абсолютной температуре.

$r_{\omega}(T)$  – *спектральная плотность энергетической светимости*  
или *излучательная способность*  
(энергетическая светимость, приходящаяся на единичный интервал частот вблизи  $\omega$ )

В СИ спектральная плотность энергетической светимости измеряется в Вт/м<sup>3</sup>.

2. *Энергетическая светимость* – поток энергии, испускаемой единицей поверхности. Энергетическая светимость находится путем суммирования по всем частотам.

$$r(T) = \int_0^{\infty} r_{\omega}(T) d\omega$$

3. Плотность энергии излучения

$u(T)$  – *плотность энергии излучения*

4. Спектральная плотность энергии излучения

$u_{\omega}(T)$  – *спектральная плотность энергии излучения*  
(плотность энергии, приходящаяся на единичный интервал частот вблизи  $\omega$ )

$$u(T) = \int_0^{\infty} u_{\omega}(T) d\omega$$

5. Все тела в природе не только излучают или поглощают энергию, но и отражают или пропускают ее. Спектральной характеристикой поглощения электромагнитных волн является поглощательная способность тела,

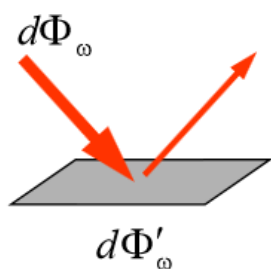
$$a_{\omega}(T) = \frac{d\Phi'_{\omega}}{d\Phi_{\omega}} \quad \text{– поглощательная способность тела}$$

показывающая, какая доля энергии падающих за 1 секунду на единицу площади поверхности тела электромагнитных волн с частотами от  $\nu$  до  $\nu + d\nu$  поглощается телом.

**Абсолютно черное тело:**  $a_{\omega}(T) = 1$

(тело, полностью поглощающее падающее излучение)

**Серое тело:**  $a_{\omega}(T) < 1$



$d\Phi_{\omega}$  – поток энергии, падающий на площадку в интервале частот  $d\omega$  вблизи  $\omega$

$d\Phi'_{\omega}$  – поток энергии, поглощаемой площадкой в интервале частот  $d\omega$  вблизи  $\omega$

### Первый закон Кирхгофа

Отношение спектральной плотности энергетической светимости тел к их поглощательной способности при постоянной температуре является одинаковой функцией длин волн (частот) и абсолютной температуры и равно спектральной плотности энергетической светимости абсолютно черного тела при той же температуре (из лекции)

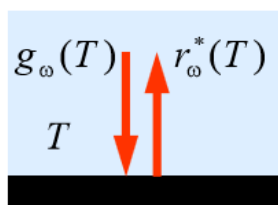
$$\frac{r_{\nu,T}}{a_{\nu,T}} = f(\nu, T) = r_{\nu,T}^*$$

### Первый закон Кирхгофа:

Спектральная (и объемная) плотность энергии не зависит от свойств стенок полости и представляет собой универсальную функцию частоты и температуры (объемная плотность – только температуры)

### Второй закон Кирхгофа

#### Абсолютно черное тело



$r_{\omega}^*(T)$  – излучательная способность абсолютно черного тела

$g_{\omega}(T)$  – спектральная плотность потока энергии, падающего на единицу поверхности

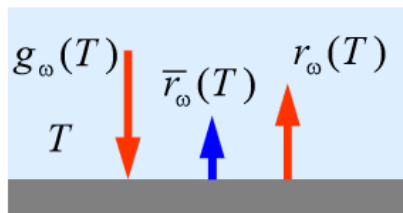
Из энергетического баланса  $\Rightarrow$

$$g_{\omega}(T) = r_{\omega}^*(T)$$

Причем  $g_{\omega}(T) = \frac{1}{4} c u_{\omega}(T) \Rightarrow$

$$r_{\omega}^*(T) = \frac{1}{4} c u_{\omega}(T)$$

## Обычное тело



$r_{\omega}(T)$  – излучательная способность тела

$\bar{r}_{\omega}(T)$  – отраженная часть падающей энергии

$$\bar{r}_{\omega}(T) = (1 - a_{\omega}(T)) \cdot r_{\omega}^{*}(T)$$

Из энергетического баланса



$$\frac{r_{\omega}(T)}{a_{\omega}(T)} = r_{\omega}^{*}(T)$$

– второй закон Кирхгофа