

Квантовая природа света Тепловое излучение

Типы излучения

1. Тепловое - равновесное (термодинамическое, температурное)

При тепловом излучении:

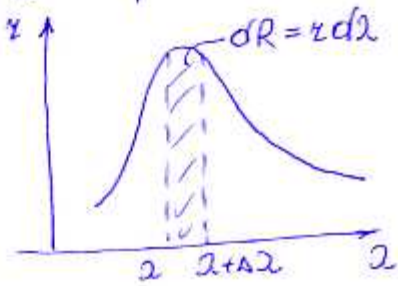
- а) Все тела обмениваются излучением - нагреваются и охлаждаются.
- б) Интенсивность излучения зависит от температур тела (Т).
- в) Спектральный состав зависит от температуры (Т)
- г) При одинаковой температуре поглощающие тела излучают сильнее, чем прозрачные.

Характеристики теплового излучения.

- а) R - энергетическая светимость (в фотометрии - светимость), или интегральная излучательная способность.
- б) Удельная спектральная состав излучения, функция: dR - излучательная способность в области длин волн от λ до $(\lambda + d\lambda)$ в пределах телесного угла 2π - называется дифференциальная излучательная способность:

$$dR \sim d\lambda \Rightarrow dR = \epsilon d\lambda$$

- в) Из эксперимента получена кривая зависимости ϵ от λ (при $T = const$)



$\epsilon = \frac{dR}{d\lambda}$ - спектральная плотность энергетической светимости.

$\epsilon = f(\lambda, T)$ - сильно зависит от T

$$R = \int dR = \int_0^{\infty} \epsilon_{\lambda, T} d\lambda - \text{полное суммарное излучение (энергетическая светимость)}$$

Характеристики поглощения.

Поглощательная способность $A = \frac{d\Phi^r}{d\Phi}$, где $d\Phi^r$ - поток поглощаемой $d\Phi$ - поток падающей

$d\Phi^r$ и $d\Phi$ - потоки в узком спектральном интервале.

A сильно зависит от λ и T; $A = f(\lambda, T)$

Для всех обычных тел $A(\lambda, T) \leq 1$

Если $A_{\lambda, T} = 1$ (тело поглощает весь световой поток, падающий на него)

Тела, у которых выполняется это соотношение называются абсолютно черными (соотношение выполняется для всех λ и T).

Тепл. изл.

Закон Кирхгофа

(Закон излучения любых тел)

Отношение излучательной и поглотительной способностей тел не зависит от природы этих тел, т.е.

⊛ $\frac{\epsilon_{\lambda, T}}{A_{\lambda, T}}$ - есть универсальная для всех тел функция частоты (λ) и температуры

Тогда: для абсолютно черного тела, обозначив

$\epsilon_{\lambda, T} \equiv E_{\lambda, T}$ - излучательная способность абсолютно черного тела

$A_{\lambda, T} \equiv a_{\lambda, T}$ - поглотительная способность абсолютно черного тела

⊛ $\frac{\epsilon_{\lambda, T}}{A_{\lambda, T}} = \frac{E_{\lambda, T}}{a_{\lambda, T}}$; так как $a_{\lambda, T} = 1$, то

$\frac{\epsilon_{\lambda, T}}{A_{\lambda, T}} = E_{\lambda, T}$, т.е. отношение излучательной способности любого тела к его поглотительной способности есть излучательная способность абсолютно черного тела (а.ч.т.)

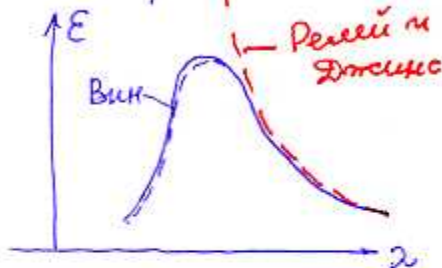
$E_{\lambda, T}$ носит название универсальной функции Кирхгофа.

Как следствие из этого закона - изучение излучения а.ч.т.

Излучательная или спектральная плотность энергетической светимости

$$E_{\lambda, T} = f(\lambda, T)$$

Экспериментальная зависимость $E_{\lambda, T}$ от λ



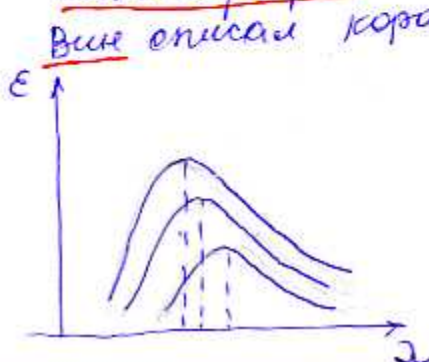
Энергетическая способность

$$R = \int_0^{\infty} E_{\lambda, T} \cdot d\lambda = \sigma T^4, \text{ где } \sigma = 5,672 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}^4}$$

Закон Стефана - Больцмана.

Описать математически излучательную способность а.ч.т. пытались Релей и Штеркс, их выражение описало длинноволновую часть кривой, но при увеличении λ их выражение возрастало к ∞ - так называемая ультрафиолетовая катастрофа.

Вин описал коротковолновую часть графика



$$\lambda_{\text{max}} \cdot T = b, \text{ где } b = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$$

λ_{max} - длина волны соответствующая макс излучения

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{b}{T} - \text{чем больше } T, \text{ меньше } \lambda_{\text{max}}$$

Закон смещения Вина

Менс. упр. Задача 1

Определить равновесную температуру черной пластинки, помещенной перпендикулярно солнечным лучам за пределами земной атмосферы, если расстояние пластинки от Солнца можно считать равным расстоянию Земля-Солнце.

$$T_c \cong 6000K$$

$$R_c \cong 7 \cdot 10^8 \text{ м}$$

$$R_{z-c} \cong 1,5 \cdot 10^{11} \text{ м}$$

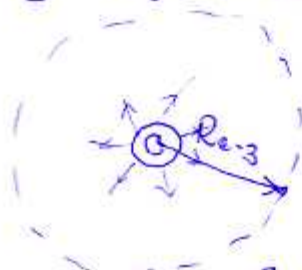
$$T_{пл} = ?$$

В течение некоторого времени пластинка излучает соответственно своей температуре и поглощает энергию падающую на нее. Через определенное время наступит термодинамическое равновесие и пластинка будет излучать столько энергии, сколько поглотит.

$$(*) \quad W_{пол} = W_{изл}; \quad \text{где } W_{изл} = R_{пл} \cdot 2 S_{пл} \cdot t \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \end{array} \right\} \begin{array}{l} \\ \\ \\ \end{array}$$

$$W_{пол} = \gamma \cdot S_{пл} \cdot t \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \end{array} \right\} \begin{array}{l} \gamma - \text{коэффициент} \\ \text{излучения Солнца, падаю-} \\ \text{щего на } 1 \text{ м}^2 \text{ пластинки.} \end{array}$$

$$① \quad W_{изл} = \sigma T_{пл}^4 \cdot 2 S_{пл} \cdot t \quad \leftarrow \quad \frac{2 S_{пл}}{2 S_{пл}} - \text{т.к. пластинка излучает с двух сторон}$$



Вся энергия, излучаемая Солнцем падает на поверхность сферы радиуса R_{c-z} . (поможемшии энергии пренебрегаем)
 $W_c = W_{сф}$

Солнце (а.т.м.) излучает по закону Ст-Б.

$$W_c = R_c \cdot S_c \cdot t = \sigma T_c^4 \cdot 4\pi R_c^2 \cdot t$$

$$W_{сф} = \gamma \cdot S_{сф} \cdot t = \gamma \cdot 4\pi R_{c-z}^2 \cdot t$$

приравняем,

$$\text{тогда } \sigma T_c^4 R_c^2 = \gamma \cdot R_{c-z}^2 \Rightarrow \gamma = \frac{\sigma T_c^4 \cdot R_c^2}{R_{c-z}^2}, \text{ и}$$

тогда энергия, поглащаемая пластинкой

$$② \quad W_{пол} = \frac{\sigma T_c^4 \cdot R_c^2}{R_{c-z}^2} \cdot S_{пл} \cdot t$$

Затемени (*) (приравняем ① и ②)

$$\sigma T_{пл}^4 \cdot 2 S_{пл} \cdot t = \frac{\sigma T_c^4 \cdot R_c^2}{R_{c-z}^2} \cdot S_{пл} \cdot t \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T_{пл}^4 = \frac{T_c^4 \cdot (R_c)^2}{2 \cdot (R_{c-z})^2} \Rightarrow$$

$$\underline{T_{пл}} = \frac{T_c}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{R_c}{R_{c-z}}} = \frac{6 \cdot 10^3}{1,41} \sqrt{\frac{7 \cdot 10^8}{15 \cdot 10^{10}}} = \underline{\underline{200K}}$$

т. ч. 2.

Продолжение задачи 1:

На какую длину волны приходится максимум излучения этой пластинки?

По закону смещения Вина:

$$\lambda_{\max} \cdot T_{\text{пл}} = b$$

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T_{\text{пл}}} = \frac{0,29 \cdot 10^{-2}}{290} = \underline{10 \text{ мкм}}$$

А на какую длину волны приходится максимум излучения Солнца?

Т поверхности
Солнца
5760K

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T_{\text{с}}} = \frac{0,29 \cdot 10^{-2}}{5760} = 5,03 \cdot 10^{-7} = \underline{503 \text{ нм}}$$