

ЛЕКЦИЯ

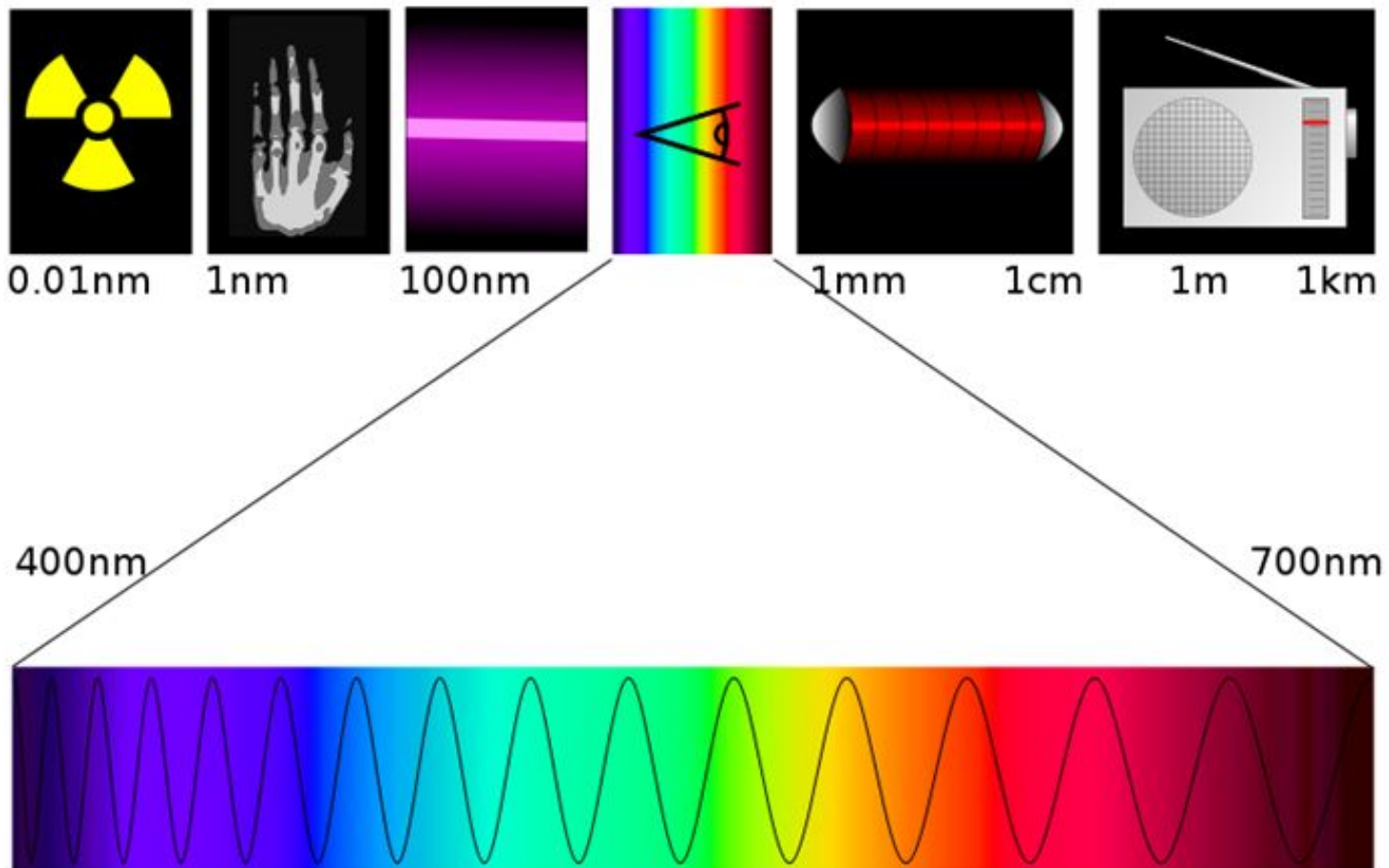
**Тема: Тепловое излучение и его
характеристики**

План

1. Тепловое излучение. Характеристики теплового излучения (поток излучения, интегральная излучательная способность, спектральная излучательная способность, интегральная поглощательная способность).
2. Понятие абсолютного черного и серого тел.
3. Закон Кирхгофа, закон Стефана-Больцмана, закон Вина.
4. Тепловое излучение тела человека. Методы теплолечения.
5. Контактные и дистанционные методы определения температуры (термометры, термограф).

Тепловым называется излучение, которое возникает в результате теплового движения атомов и молекул.

Тепловое излучение свойственно **всем телам** при $T > 0 \text{ K}$ и имеет **сплошной спектр**, т.е. содержит электромагнитные волны всех длин волн от 0 до ∞ .



- **Тепловое излучение тела человека** относится к инфракрасному диапазону электромагнитных волн.
- **Инфракрасные лучи** занимают диапазон электромагнитных волн с длиной волны от 760 нм до 1-2 мм.

$$7,6 \cdot 10^{-7} \text{ м} \leq \lambda_{\text{ИФ}} \leq 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Характеристики теплового излучения

Поток излучения, Φ_e – физическая величина, численно равная энергии, переносимой излучением в единицу времени:

$$\Phi_e = W_e / t , \quad [\Phi_e] = \text{Дж/с} = \text{Вт} \quad (1)$$

где W_e - энергия излучения.

Интегральная излучательная способность (R) – поток излучения, испускаемый единицей площади поверхности. $[R] = \text{Вт/м}^2$:

$$R = \frac{W_e}{t \cdot S} = \frac{\Phi}{S} , \quad [R] = \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \quad (2)$$

Спектральная плотность энергетической светимости,

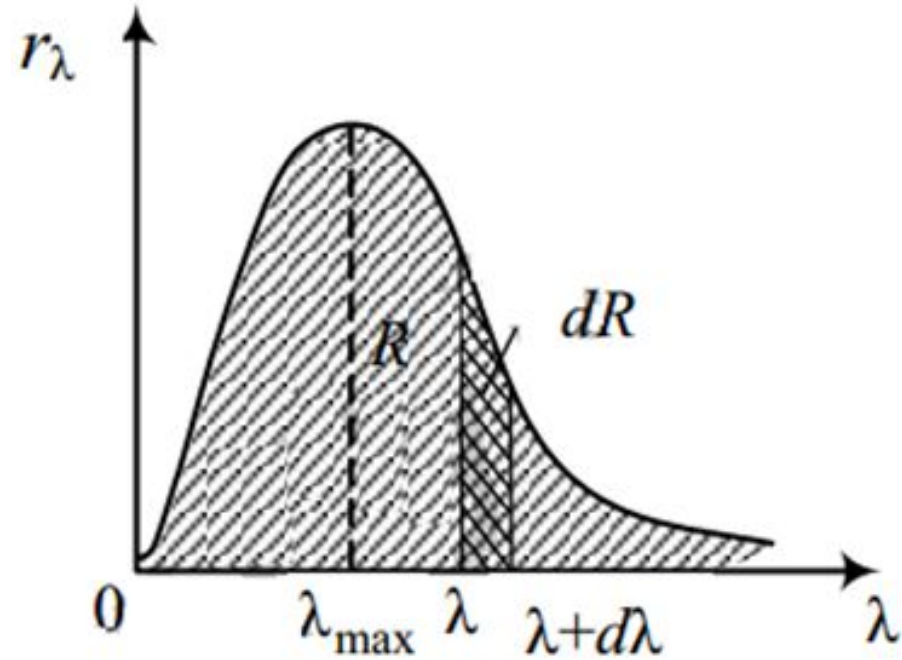
R_λ - характеризует распределение излучения по длинам волн:

$$R_\lambda = \frac{dR}{d\lambda} = \text{Вт} / \text{м}^3 \quad (3)$$

где интегральная излучательная способность в бесконечно малом интервале длин волн

от λ до $\lambda + \Delta\lambda$;

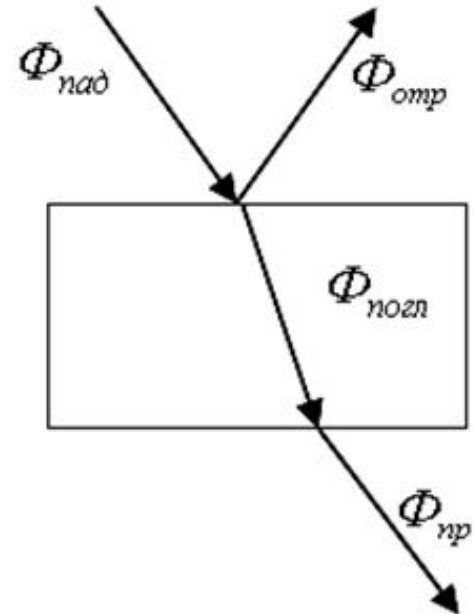
$d\lambda$ – ширина интервала длин волн от λ до $\lambda + \Delta\lambda$.



Интегральная поглотательная способность (коэффициент поглощения) – способность нагретого тела поглощать энергию внешнего излучения.

$$\Phi_{над} = \Phi_{погл} + \Phi_{прош} + \Phi_{отр}$$

$$\alpha = \frac{\Phi_{погл.}}{\Phi_{над}} \quad (4)$$



Если поток излучения падает на какое-либо тело, то часть его отражается поверхностью тела, часть поглощается и часть может проходить через это тело:

Спектральный коэффициент поглощения – физическая величина, характеризующая способность тел поглощать падающее на них излучение на данной длине волны и численно равная отношению монохроматического поглощенного потока к монохроматическому падающему потоку на этой длине волны:

$$\alpha_{\lambda} = \Phi_{\text{погл},\lambda} / \Phi_{\text{пад},\lambda} \quad (5)$$

Абсолютно черное тело **и его реализация**

Абсолютно черное тело – это тело, которое поглощает всю падающую энергию.

Коэффициент поглощения абсолютно черного тела

$$\alpha = \alpha_{\lambda} = 1$$

и не зависит от длины волны.

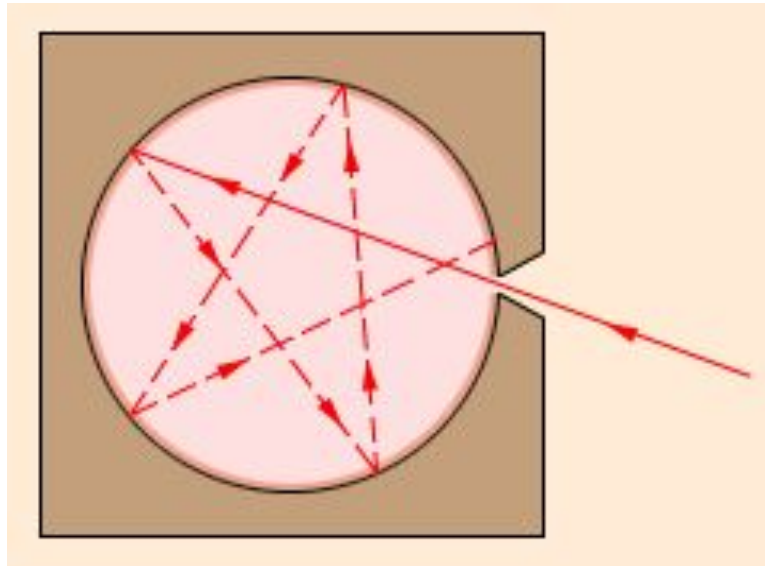
Абсолютно черных тел в природе не существует. Однако **некоторые тела в ограниченных интервалах длин волн близки к абсолютно черным**. Например, в видимом диапазоне излучения коэффициенты поглощения сажи, платиновой черни и черного бархата, близки к единице.



Абсолютно черное тело и его реализация

В физике для экспериментального исследования теплового излучения используется модель, максимально приближенная к абсолютно черному телу. Она представляет собой замкнутую оболочку с небольшим отверстием.

Свет, попадающий внутрь оболочки сквозь отверстие, после многократных отражений будет полностью поглощён, и отверстие снаружи будет выглядеть совершенно чёрным. Но при нагревании оболочки из ее отверстия будет исходить излучение, близкое к тепловому излучению абсолютно черного тела.



Серые тела – тела, у которых коэффициент поглощения меньше единицы, но одинаков на всех длинах волн

$$\alpha = \text{const} < 1$$

• Эти тела поглощают излучение не полностью, но одинаково на всех длинах волн.

Пример: тело человека считают серым телом

$$\alpha = 0,9.$$

• Черные и серые тела – это физическая абстракция.

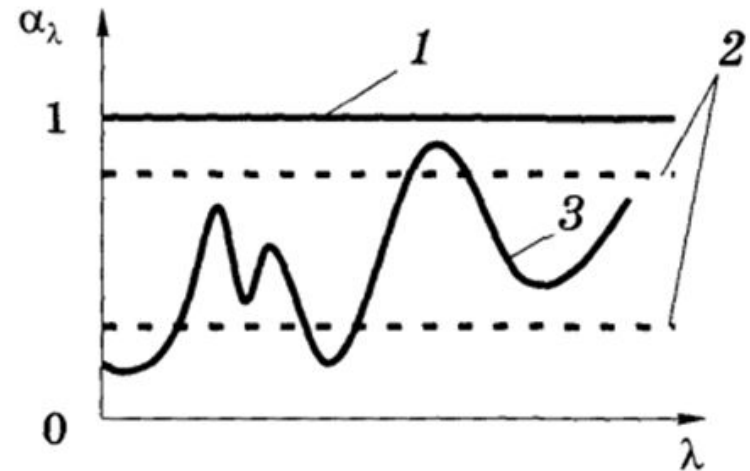


Рис. 20.1. Зависимость коэффициента поглощения разных тел от длины волны:
1 — абсолютно черное тело;
2 — серые тела; 3 — остальные тела

Законы теплового излучения

1. Закон Кирхгофа (1859 г.): Отношение спектральной излучательной способности тел к их спектральной поглотительной способности не зависит от природы излучающего тела и равно спектральной излучательной способности абсолютно черного тела при данной температуре:

$$\left(\frac{R_{\lambda}}{\alpha_{\lambda}} \right)_{1 \text{ тела}} = \left(\frac{R_{\lambda}}{\alpha_{\lambda}} \right)_{2 \text{ тела}} = \dots = R_{\lambda \text{ а.ч.т.}}$$

где $R_{\lambda \text{ а.ч.т.}}$ - спектральная излучательная способность абсолютно черного тела.

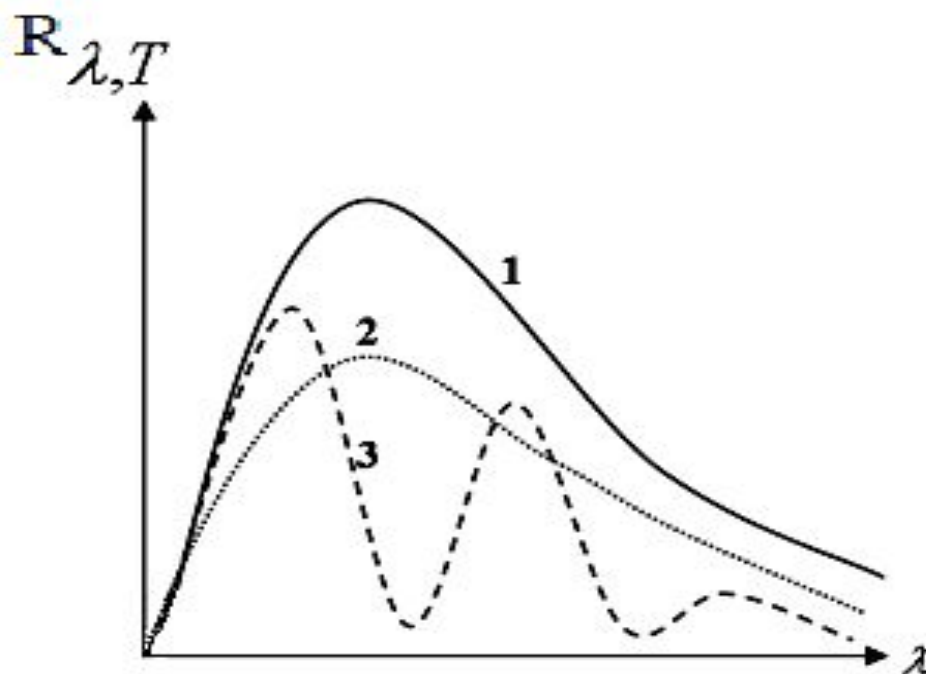
Следствия:

- $R_{\lambda} = R_{\lambda \text{ а.ч.т.}} \cdot \alpha_{\lambda}$

- т.к. $\alpha_{\lambda} < 1$, то $R_{\lambda \text{ а.ч.т.}} > R_{\lambda}$ т.е. абсолютно черное тело излучает больше, чем любое другое при данной температуре;

- если $\alpha_{\lambda} = 0$, то $R_{\lambda} = 0$, .е. если тело не поглощает излучение, то оно его и не излучает.

Тепловое излучение является равновесным – сколько энергии излучается телом, столько ее им и поглощается.



Кривые распределения энергии в спектрах теплового излучения различных тел (1 – абсолютно черное тело, 2 – серое тело, 3 – произвольное тело)

2. Закон Стефана-Больцмана интегральная излучательная способность абсолютно черного тела ($R_{a.ч.т.}$) прямо пропорциональна четвертой степени его термодинамической температуры (Т) :

$$R_{a.ч.т.} = \sigma \cdot T^4 ,$$

где $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²·К⁴) – постоянная Стефана-Больцмана.

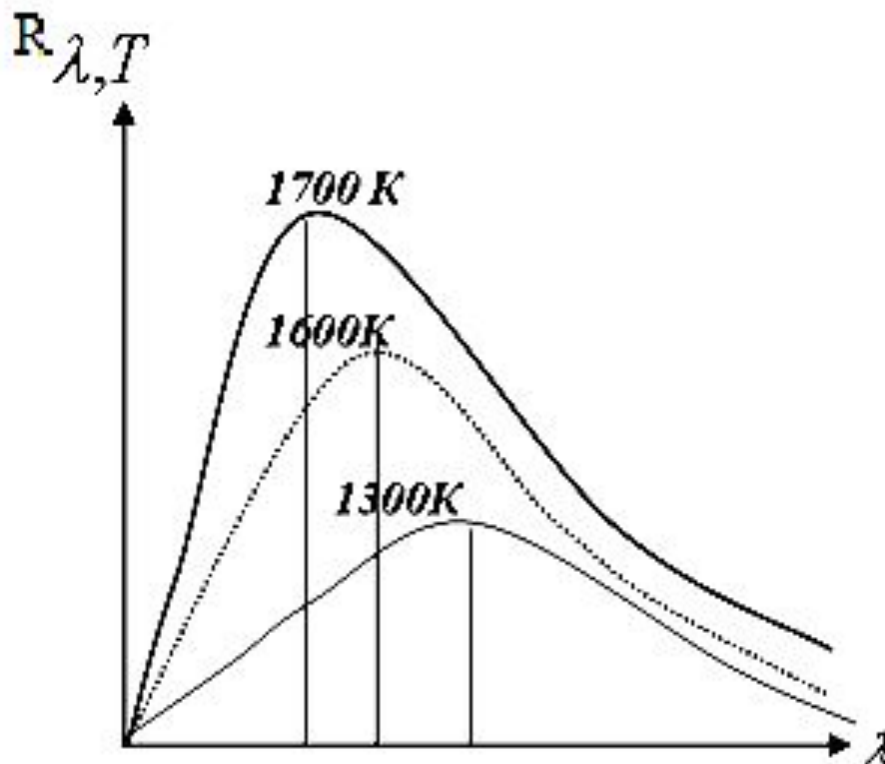
Реальные источники теплового излучения при той же самой температуре обладают меньшей энергетической светимостью, чем абсолютно черное тело. Для серого тела:

$$R_{\lambda c.т.} = \sigma T^4 \alpha_{\lambda}$$

3. Закон смещения Вина (1893 г.): длина волны, на которую приходится максимум спектральной излучательной способности данного тела, обратно пропорциональна его термодинамической температуре:

$$\lambda_m = b/T$$

где $b = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$



Спектры теплового излучения абсолютно черного тела при различных температурах

Тепловое излучение тела человека

- Тело человека имеет постоянную температуру благодаря терморегуляции. Основной частью терморегуляции является теплообмен организма с окружающей средой.
- *Теплообмен* происходит с помощью таких процессов:
- а) теплопроводность (0 %), б) конвекция (20 %), в) излучение (50 %), г) испарение (30 %).

Диапазон теплового излучения тела человека

- Температура поверхности кожи человека: .

$$t = 32^{\circ}C \rightarrow T = 273 + 32 = 305 K$$

- По закону Вина

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{b}{T} = \frac{2,9 \cdot 10^{-3}}{305} \approx 9,5 \cdot 10^{-6} \text{ м (10 мкм)}$$

Длина волны соответствует инфракрасному диапазону, потому не воспринимается глазом человека.

Излучательная способность тела человека

- Тело человека считается серым телом, так как частично излучает энергию

$$R_{\text{человека}} = \alpha \sigma T_{\text{человека}}^4$$

и поглощает излучение из окружающей среды

$$R_{\text{среды}} = \alpha \sigma T_{\text{среды}}^4$$

- Энергия (ΔR), которую теряет человек за 1 секунду с 1 м^2 своего тела вследствие излучения составляет:

$$\Delta R = R_{\text{человека}} - R_{\text{среды}} = \alpha \sigma (T_{\text{человека}}^4 - T_{\text{среды}}^4) = 0,9 \cdot 5,7 \cdot 10^{-8} (310^4 - 295^4) = 85 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

где температура окружающей среды $t_0 = 22^\circ \text{C} \rightarrow T_0 = 295 \text{ K}$

температура тела человека: $t = 37^\circ \text{C} \rightarrow T = 310 \text{ K}$

Контактные методы определения температуры

- Термометры: ртутные, спиртовые.
- Шкала Цельсия: $t^{\circ}\text{C}$
- Шкала Кельвина: $T = 273 + t^{\circ}\text{C}$
- Шкала Фаренгейта:
$$t^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9}(t^{\circ}\text{F} - 32)$$
- *Термография* – это метод определения температуры участка тела человека дистанционно путем оценки интенсивности теплового излучения.
- *Приборы*: термограф или тепловизор (регистрирует распределение температур на выбранном участке человека).