

# **ЛЕКЦИЯ**

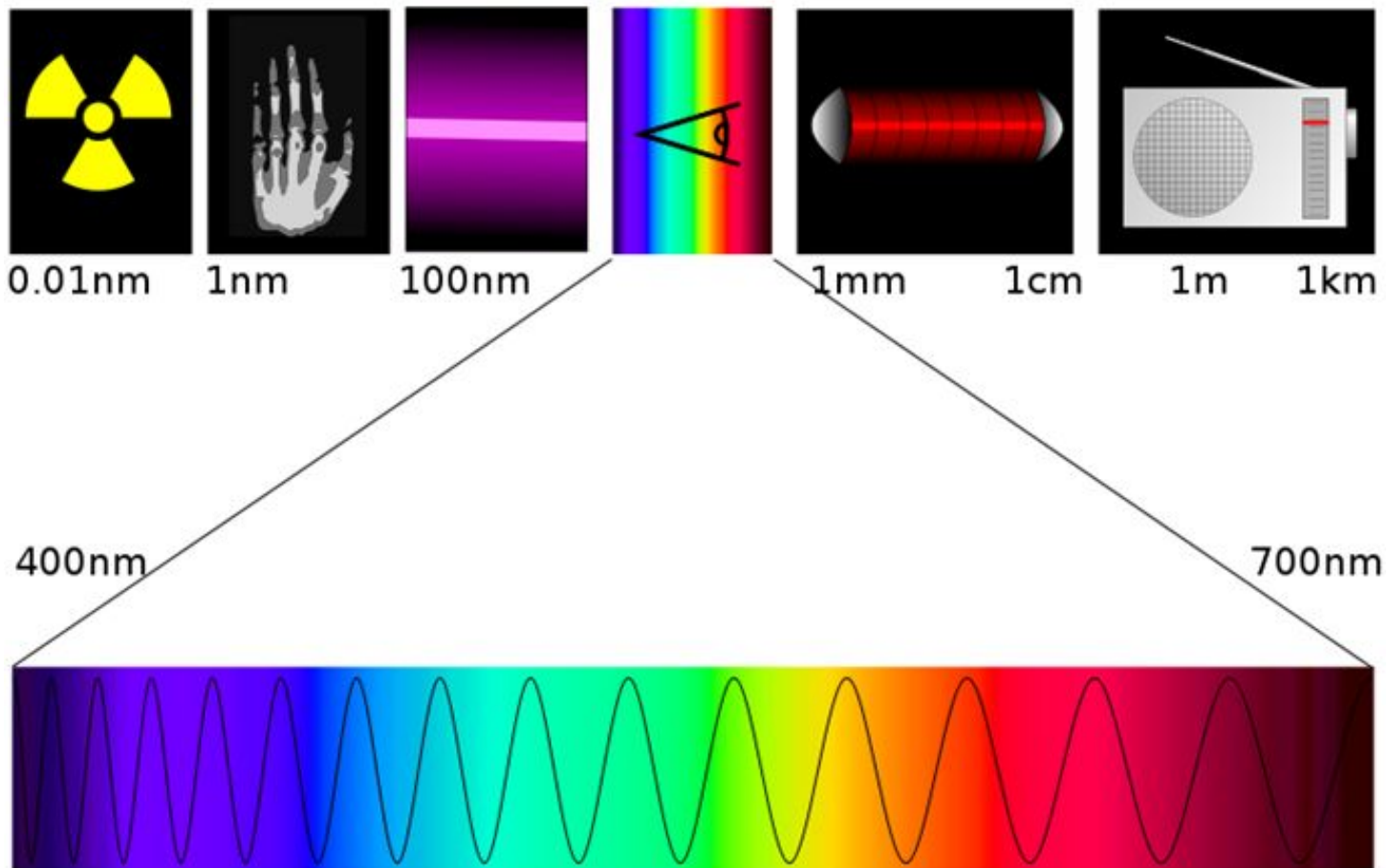
**Тема: Тепловое излучение и его  
характеристики**

# 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  $\infty$ .



- **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**,  $\Phi_e$  – 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,

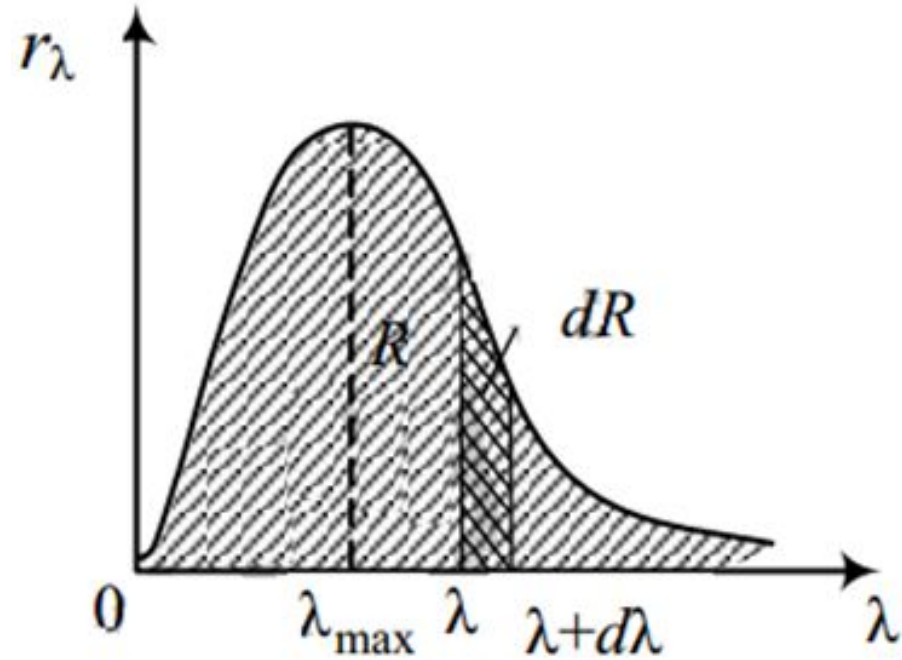
$R_\lambda$  - характеризует распределение излучения по длинам волн:

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

где интегральная излучательная способность в бесконечно малом интервале длин волн

от  $\lambda$  до  $\lambda + \Delta\lambda$ ;

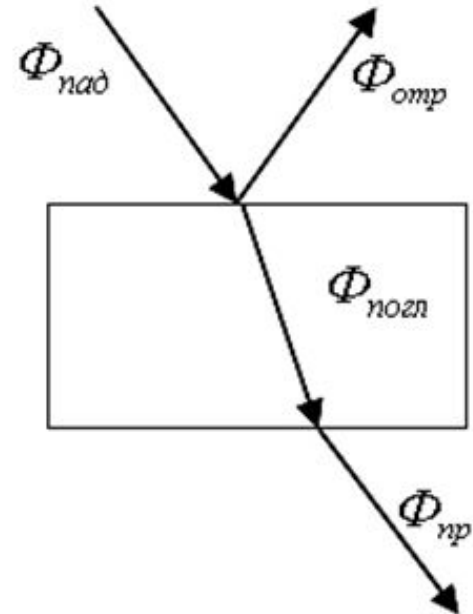
$d\lambda$  – ширина интервала длин волн от  $\lambda$  до  $\lambda + \Delta\lambda$ .



**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.

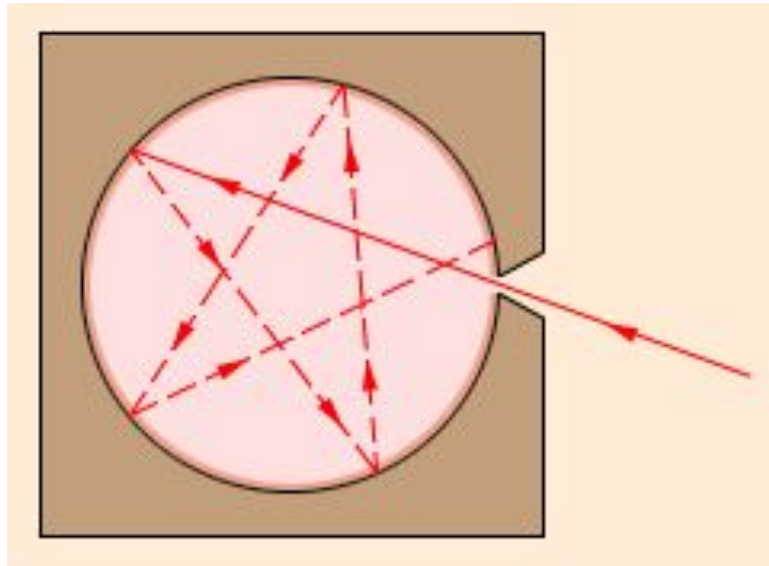
Абсолютно черных тел в природе не существует. Однако **некоторые тела в ограниченных интервалах длин волн близки к абсолютно черным**. Например, в **видимом диапазоне излучения** коэффициенты поглощения сажи, платиновой черни и черного бархата, близки к единице.



## 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

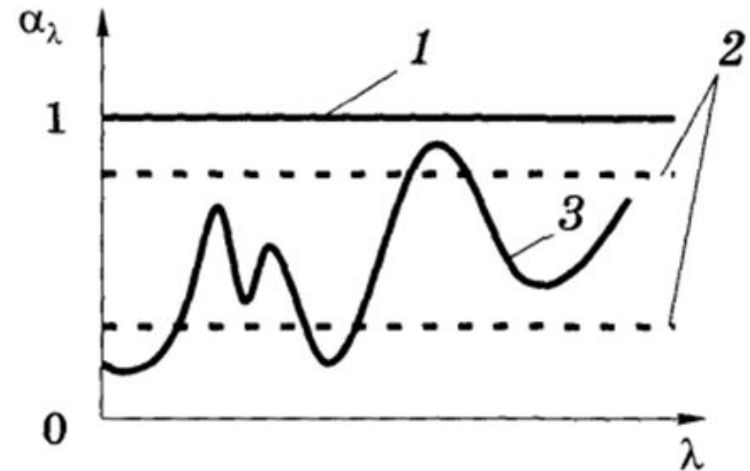
$$\alpha = \text{const} < 1$$

• 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.

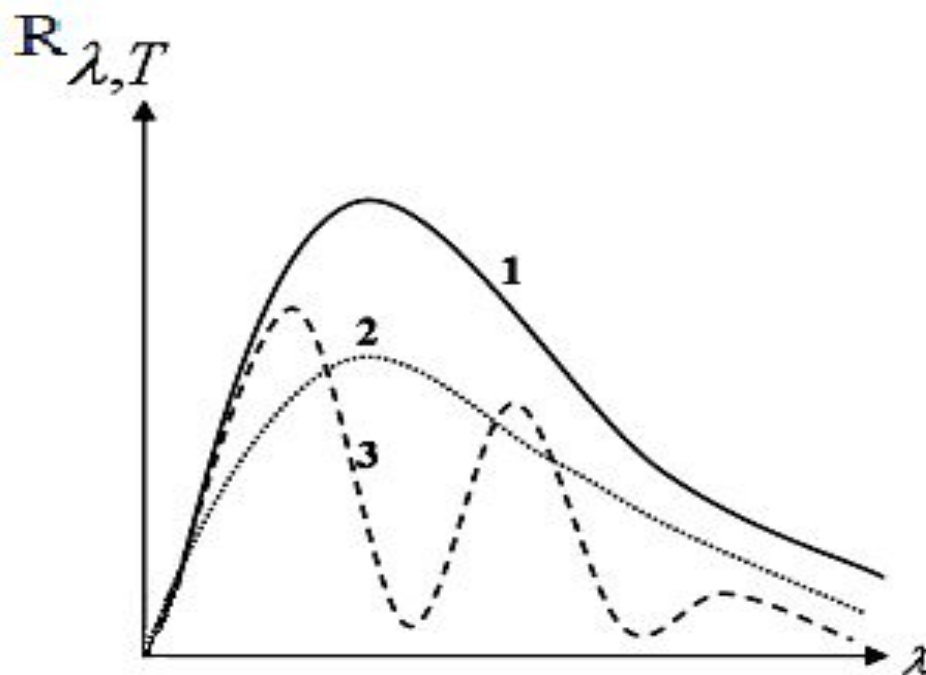
## Следствия:

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

- 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/(м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>) – постоянная Стефана-Больцмана.

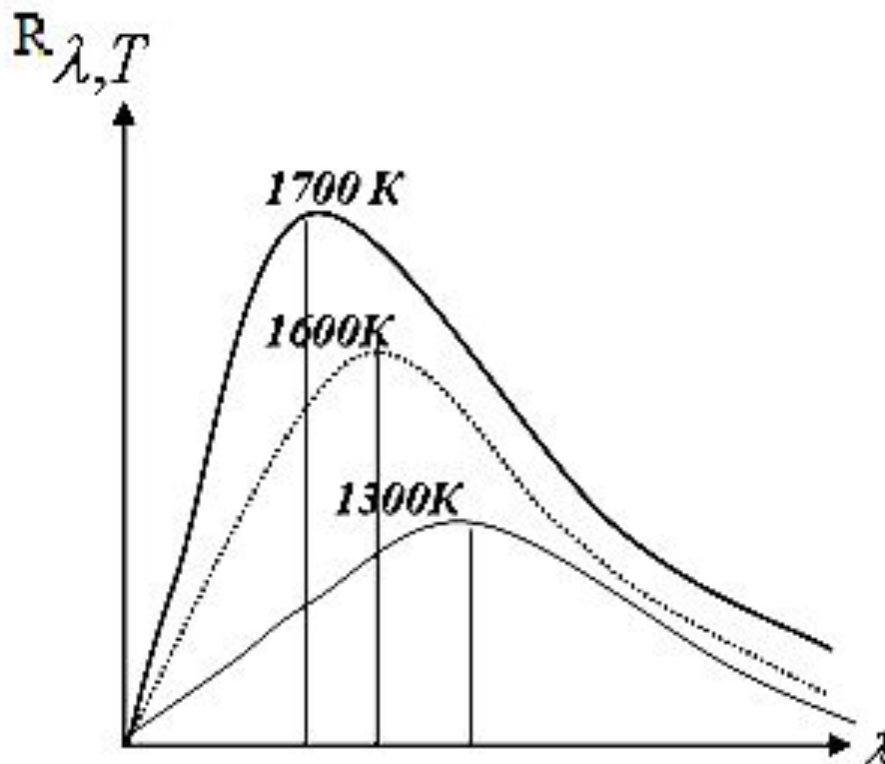
Реальные источники теплового излучения при той же самой температуре обладают меньшей энергетической светимостью, чем абсолютно черное тело. Для серого тела:

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

**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 ( $\Delta R$ ), которую теряет человек за 1 секунду с  $1 \text{ м}^2$  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).