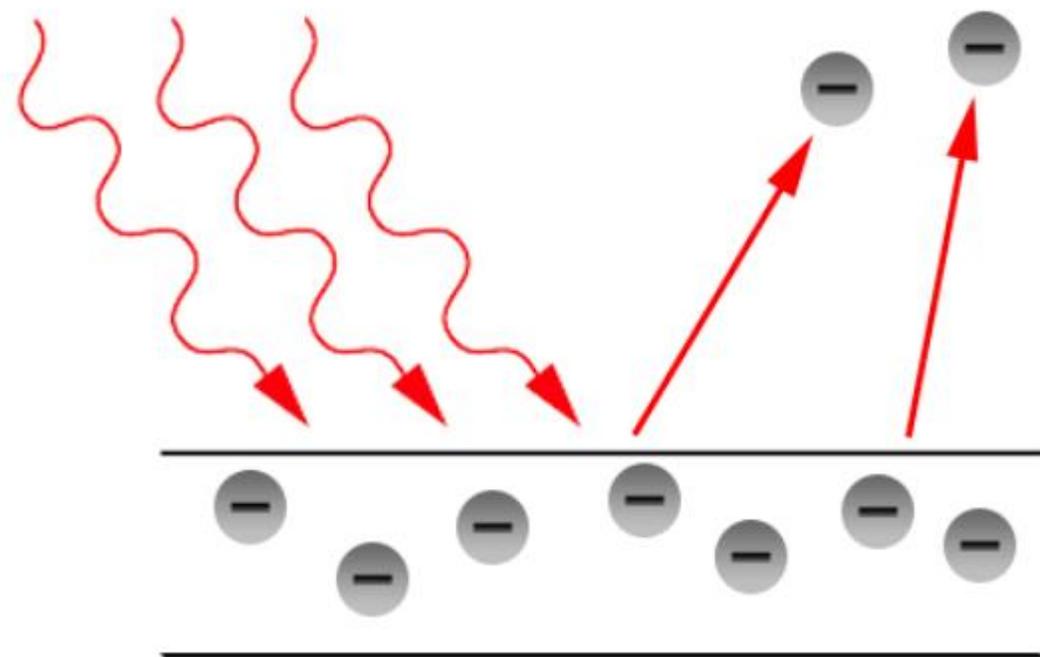


Квантовая природа излучения

Часть 1.



Лекция 2

План:

- Кванты и их характеристики
- Тепловое излучение
- Характеристики теплового излучения
- АЧТ. Законы АЧТ.

- В начале XX в. открыты ряд явлений, объяснить которые с точки зрения классической физики оказалось невозможно.
- Это внешний фотоэффект (Планк, Эйнштейн), тепловое излучение (исследовали раньше, теория не работала), эффект Комптона.

Кванты света и их характеристики.

- Все эти явления можно объяснить, если рассматривать свет как поток частиц – *фотонов (квантов света)*.
- Также *квант* – это «порция», «доля» какой-либо величины (энергии, импульса и т.д.).

- **Гипотеза Планка** (для теплового излучения): свет испускается квантами. **Дополнение Эйнштейна** (для внешнего фотоэффекта): свет и поглощается квантами.

Энергия кванта (или квант энергии):

$$\varepsilon = h \cdot \nu = h \frac{c}{\lambda}$$

- $h=6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – постоянная Планка,
 ν – частота света,
 c – скорость света в вакууме.

$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$

Также:

$$\varepsilon = \hbar \omega, \quad \hbar = \frac{h}{2\pi} = 1,06 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

Масса фотона:

$$\varepsilon = h\nu = m_{\gamma}c^2 \Rightarrow m_{\gamma} = \frac{h\nu}{c^2}$$

Импульс фотона:

$$p_{\gamma} = m_{\gamma}c \Rightarrow p_{\gamma} = \frac{h\nu}{c} = \frac{hc}{c\lambda} \Rightarrow p_{\gamma} = \frac{h}{\lambda}$$

**Квант света и его параметры
существуют только пока он движется.
Энергия покоя для фотона равна 0.**

- Такие явления, как интерференция и дифракция света, могут быть объяснены только на основе волновых представлений.
- Т.е., свет проявляет **корпускулярно - волновой дуализм** или двойственность свойств: в одних явлениях проявляется его волновая природа, в других – свет ведет себя как поток частиц.

Тепловое излучение

– электромагнитное излучение,
испускаемое веществом,
возникающее за счет его
внутренней энергии.

Все другие виды свечения (излучения света), возбуждаемые за счет любого другого вида энергии, кроме теплового, называются люминесценцией:

- хемилюминесценция
- электролюминесценция
- фотолюминесценция

Характеристики теплового излучения

1. Поток излучения (мощность) – энергия, испускаемая в единицу времени (всех частот, по всем направлениям).

$$\Phi = \frac{dW}{dt} \stackrel{\text{для стац.}}{=} \frac{W}{t}, \text{ Вт}$$

2. Энергетическая светимость (испускательная способность) тела, поток энергии, излучаемый единицей поверхности излучающего тела:

$$r_T = \frac{d\Phi}{dS} = \frac{W}{St}, \quad 1 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

зависит от температуры тела, T .

Мощность с 1 м^2 излучающей поверхности.

**3. Спектральная плотность
излучения, мощность излучения с
единичной площади поверхности
тела, приходящаяся на единичный
интервал длин волн вблизи данной
длины волны λ .**

$$r_{\lambda T} = \frac{dr_T}{d\lambda} = \frac{d\Phi}{dS \cdot d\lambda}, \quad 1 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^3}$$

Для определения энергетической светимости тела при данной температуре:

$$r_T = \int_0^{\infty} dr_{\lambda T} d\lambda$$

т.е. проинтегрировать спектральные плотности по всем испускаемым длинам волн (цветам).

**4. Поглощательная способность –
отношение потока энергии,
поглощенной телом к потоку,
падающему на тело**

$$a_{\lambda T} = \frac{\Phi_{\lambda T}^{\text{погл}}}{\Phi_{\lambda T}^{\text{пад}}} \leq 1,$$

$$\text{или } a_T = \frac{\Phi_T^{\text{погл}}}{\Phi_T^{\text{пад}}} \leq 1$$

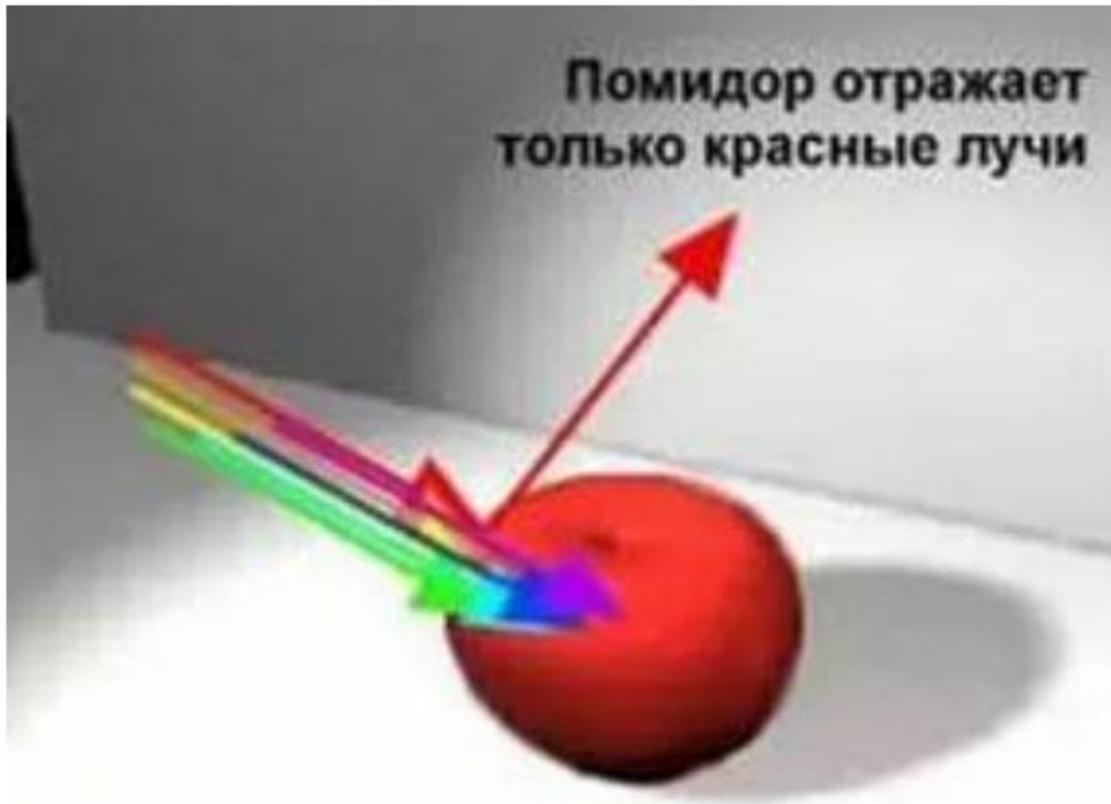
спектральная

(для одного цвета)

интегральная

(для всего спектра)

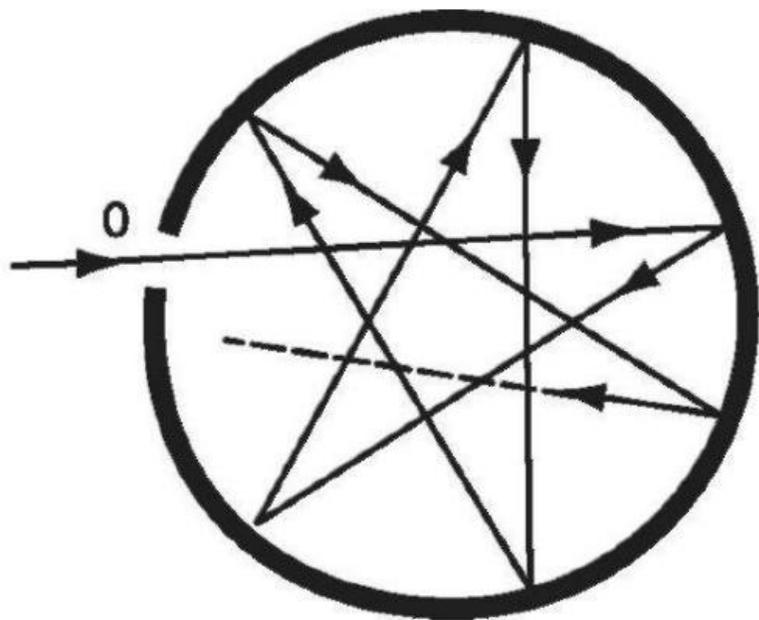
Различными поглотительными и отражательными способностями обусловлен цвет окрас всех наблюдаемых объектов.



- **Абсолютно черное тело (АЧТ) – идеальное тело, при любой температуре поглощает всю энергию падающего на него электромагнитного излучения. Поглощательная способность равна 1.**

$$a_{\lambda_1 T}^{AЧТ} = a_{\lambda_2 T}^{AЧТ} = \dots = a_{\lambda_N T}^{AЧТ} = 1 = a_T^{AЧТ}$$

МОДЕЛЬ АЧТ



- В реальности к АЧТ приближены поверхность Солнца, других звёзд и небольшие отверстия в зачернённых полостях.

Серое тело – одинаково поглощает все длины волн (цвета). Примеры – расплавленные металлы, «белая» доска, лист бумаги, потолок и пр.

$$a_{\lambda_1 T}^C = a_{\lambda_2 T}^C = \dots = a_{\lambda_N T}^C = a_T^C < 1$$

- **Физические величины, характеризующие излучательную способность АЧТ будем обозначать большими буквами, напр.**

$$R_T, R_{\lambda T}$$

Законы излучения абсолютно черного тела.

Закон Кирхгофа: отношение энергетической светимости любого тела к его поглощательной способности является постоянной величиной, зависит только от температуры.

$$\left(\frac{r_{\lambda T}}{a_{\lambda T}} \right)_1 = \left(\frac{r_{\lambda T}}{a_{\lambda T}} \right)_2 = \dots = \left(\frac{r_{\lambda T}}{a_{\lambda T}} \right)_i = R_{\lambda T}$$

- В интегральном виде закон Кирхгофа

$$\frac{r_T}{a_T} = R_T$$

т.е. эти отношения равны энергетической светимости АЧТ при этой т-ре.

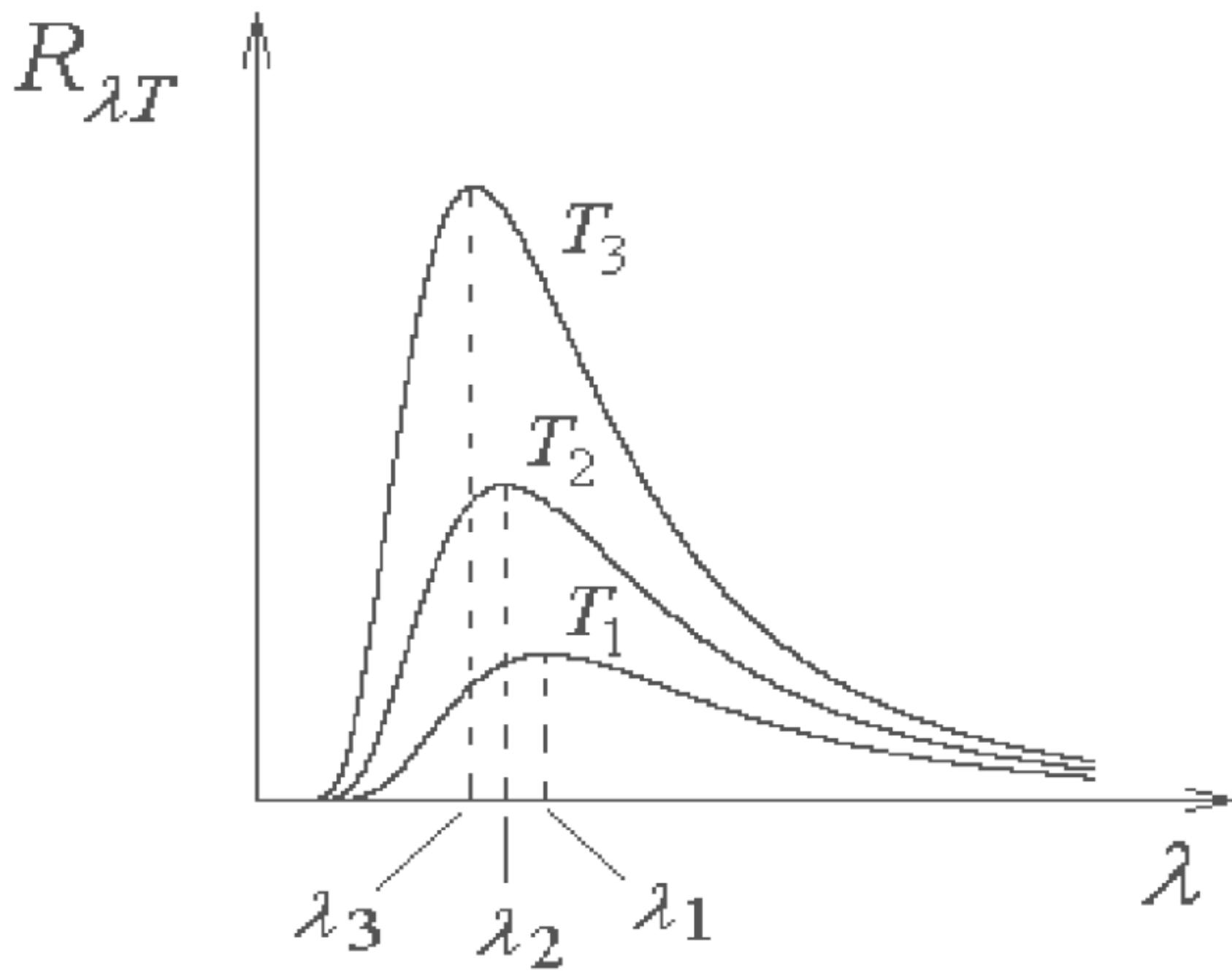
**В задачах считаем реальные тела серыми,
тогда:**

$$r_T^{\text{реального тела}} = a_T^{\text{этого тела}} \cdot R_T^{\text{АЧТ}}$$

- **Макс Планк установил вид спектральной плотности энергетической светимости АЧТ в 1900 г., предположив, что свет испускается квантами (гипотеза Планка):**

$$R_{\lambda T} = \frac{4\pi^2 \hbar c^2}{\lambda^5 \left(\exp\left(-\frac{\hbar\omega}{kT}\right) - 1 \right)}, \quad \text{где } \hbar = \frac{h}{2\pi}$$

это функция Планка. $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К
постоянная Больцмана,



Из формулы Планка следуют
основные законы ТИ для АЧТ.

Закон Стефана-Больцмана:

$$R_T = \sigma T^4,$$

T – абсолютная температура АЧТ, $[T] = 1K$

$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}^4}$ – постоянная Стефана-Больцмана

$R_{\lambda T}$ 

Светимость АЧТ – площадь,
ограниченная
функцией Планка.

Глазами воспринимаем как
яркость.

Т.е. с ростом абс. температуры
в 2 раза, светимость тела
возрастёт в $2^4=16$ раз.

площадь под кривой

Закон смещения Вина:

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T},$$

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

λ_{\max} – длина волны, соответствующая максимуму спектральной плотности энергетической светимости АЧТ.

**Закон Вина мы видим, как смену
цветового окраса свечения нагретых
тел с ростом их температуры.**

От красного к белому.

Второй закон Вина:

**Максимальная спектральная плотность
излучения АЧТ возрастает
пропорционально пятой степени
температуры**

$$R_{\lambda T}^{\max} = b' T^5$$

$b' = 1,9 \cdot 10^{-5} \text{ Вт}/(\text{м}^3 \text{ К}^5)$ **(вторая
константа Вина)**

Оптическая пирометрия

- Совокупность оптических методов измерения температуры, основанных на законах теплового излучения.



- Приборы, применяемые для этого , называются *пирометрами* .



**Три основные группы пирометров:
радиационные, яркостные и
цветовые.**

**В радиационных регистрируется
интегральное (полное) излучение
исследуемого нагретого тела (з-ны
Стефана-Больцмана и Кирхгофа).**

$$T = \frac{T_p}{\sqrt[4]{a_T}}$$

- В *яркостных пирометрах* температура сопоставляется с излучением АЧТ на одном и том же фиксированном участке спектра.

- В **цветовых пирометрах** определяется **максимум спектральной плотности излучения серого тела λ_{\max}** , который совпадает с **максимумом для АЧТ (з-н смещения Вина)**.

$$T = \frac{b}{\lambda_{\max}}$$

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!