

ТЕПЛОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

**Тепловое излучение –
это электромагнитное
излучение нагретых
тел.**

Свойства:

- Происходит за счет внутренней энергии тела.
- Имеет сплошной спектр.
- Является одним из трех элементар-ных видов переноса тепла (еще теплопроводность и конвекция).
- Является равновесным



Характеристики теплового

излучения

1) Интегральная энергетическая

светимость R_T .

Равна мощности излучения,
испускаемого телом с
единицы площади.

$$\left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \right]$$

**На разных частотах
мощность излучения
неодинакова.**

**Распределение мощности
по частотам зависит от
температуры.**

2) Спектральная энергетическая СВИТИМОСТЬ

(излучательная способность) $r_{\nu, T}$.
Равна мощности излучения,

испускаемого телом с единицы
площади в единичном интервале
частот.

$$r_{\nu, T} = \frac{dP_{\nu, \nu+dv}^{изл}}{d\nu} \quad \left[\frac{\text{Дж}}{\text{м}^2} \right]$$

**или в единичном интервале длин
ВОЛН**

$$r_{\lambda, T} = \frac{dP_{\lambda, \lambda+d\lambda}^{\text{изл}}}{d\lambda} \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^3} \right]$$

**Связь спектральных
светимостей:**

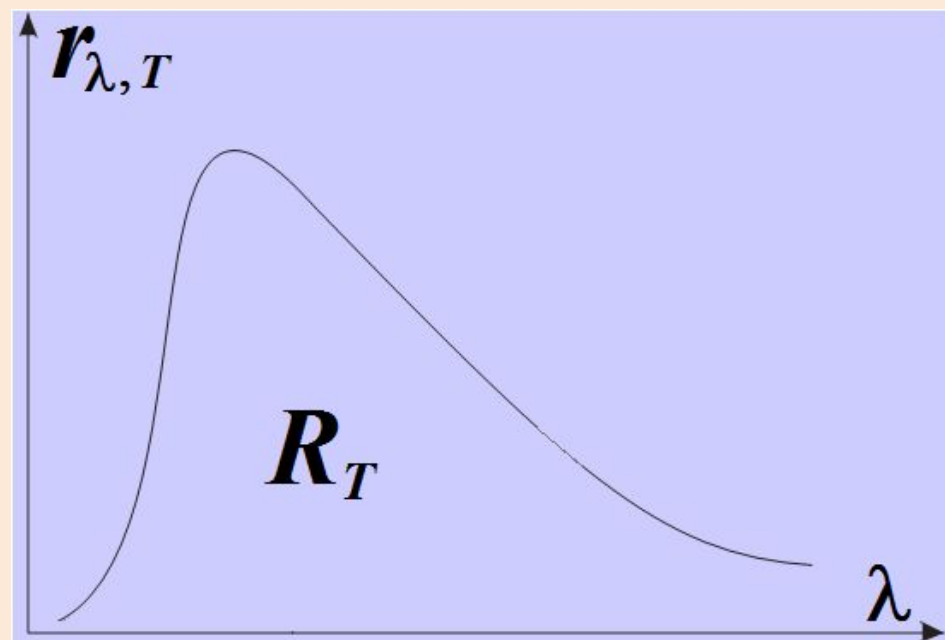
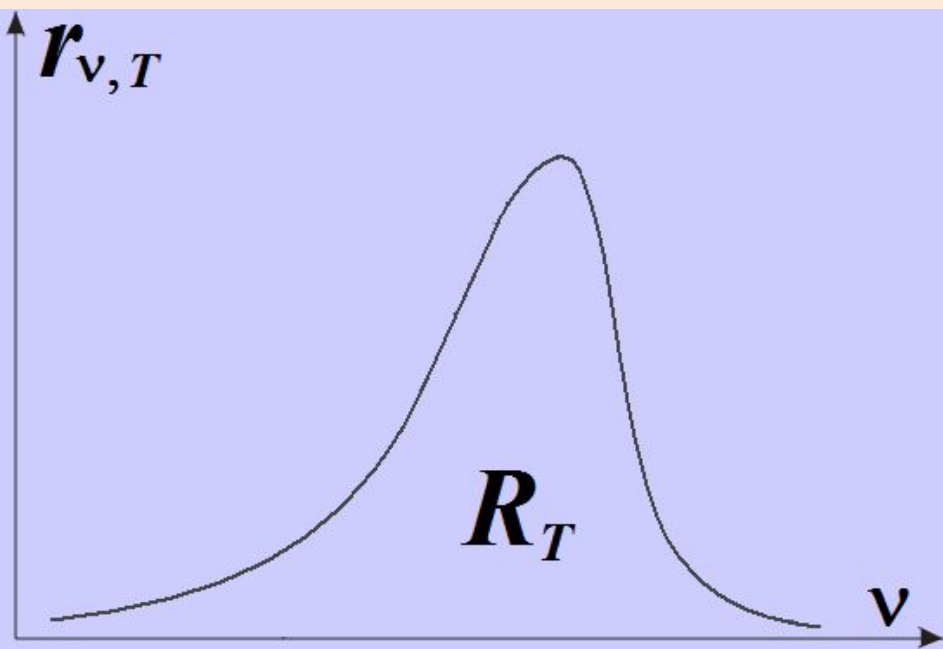
$$r_{\lambda, T} = \frac{c}{\lambda^2} r_{\nu, T}$$

**Связь интегральной и
спектральной
светимости:**

$$R_T = \int_0^{\infty} r_{\nu, T} d\nu$$

или

$$R_T = \int_0^{\infty} r_{\lambda, T} d\lambda$$



Интегральная светимость равна площади под кривой спектральной светимости.

3) Спектральная поглощательная способность

$a_{\nu, T}$.

Равна доле поглощаемого излучения.

$$a_{\nu, T} = \frac{dP_{\nu, \nu + d\nu}^{\text{погл}}}{dP_{\nu, \nu + d\nu}^{\text{пад}}}$$

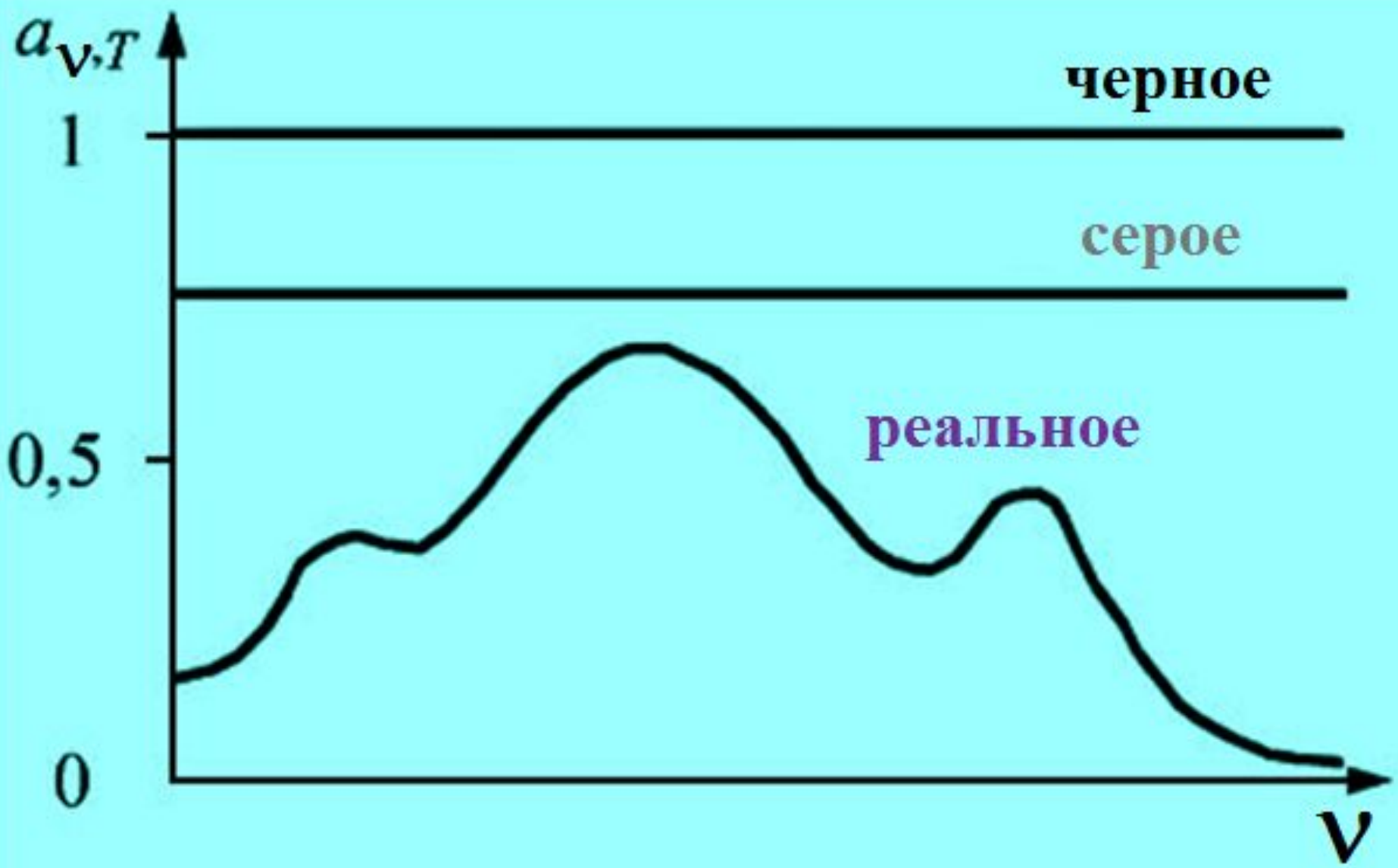
Тело, которое полностью поглощает падающее на него излучение любой частоты, называют абсолютно чёрным.

Для такого тела

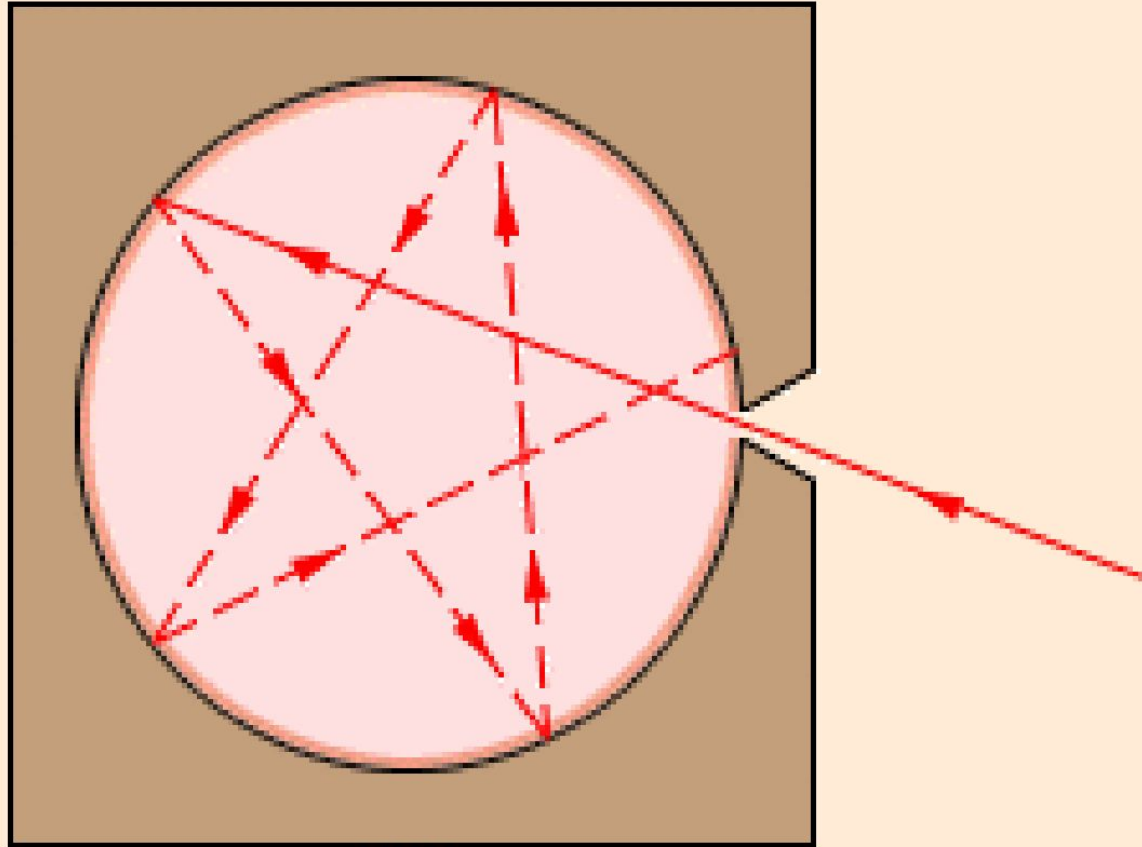
$$a_{\nu, T} = a = 1$$

**Тело, для которого
поглощательная
способность меньше
единицы и не зависит от
частоты, называют серым.
Для такого тела**

$$a_{\nu, T} = a < 1$$



Модель абсолютно черного тела (АЧТ)



Законы теплового

- 1) Закон Кирхгофа: отношение спектральной светимости к спектральной поглотительной способности есть универсальная функция Кирхгофа $f(\nu, T)$, не зависящая от вида тела!

$$a_{\nu, T}$$

$$f(\nu, T)$$

**Применим этот закон для
АЧТ:**

$$\frac{r_{\nu, T}^c}{a_{\nu, T}^c} = \frac{r_{\nu, T}^c}{1} = f(\nu, T)$$

Отсюда видим, что

$$f(\nu, T) = r_{\nu, T}^c$$

Закон Кирхгофа: $\frac{r_{\nu, T}}{a_{\nu, T}} = r_{\nu, T}^u$

Следствия:

- 1) Если тело не поглощает излучение каких-то частот, то оно его и не излучает (если $a_{\nu, T} = 0$, то $r_{\nu, T} = 0$).
- 2) При одинаковой температуре светимость АЧТ больше светимости любого другого тела

Возьмем серое тело. Применим 3. Кирхгофа.

$$\frac{r_{\nu,T}}{a_{\nu,T}^c} = r_{\nu,T}^u, \quad r_{\nu,T}^c = a^c \cdot r_{\nu,T}^u$$

$$\int_0^{\infty} r_{\nu,T}^c d\nu = a^c \int_0^{\infty} r_{\nu,T}^u d\nu$$

$$R_T^c = a^c R_T^u$$

Т. к. $a^c < 1$, то $R_T^c < R_T^u$

2) Закон Стефана-Больцмана:
энергетическая светимость
АЧТ пропорциональна
четвертой степени
температуры.

$$R_T = \sigma T^4$$

σ - постоянная Стефана-
Больцмана,

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

3) Законы Вина

Закон смещения Вина

Длина волны, соответствующая максимальной спектральной плотности энергетической светимости обратно пропорциональна температуре.

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

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

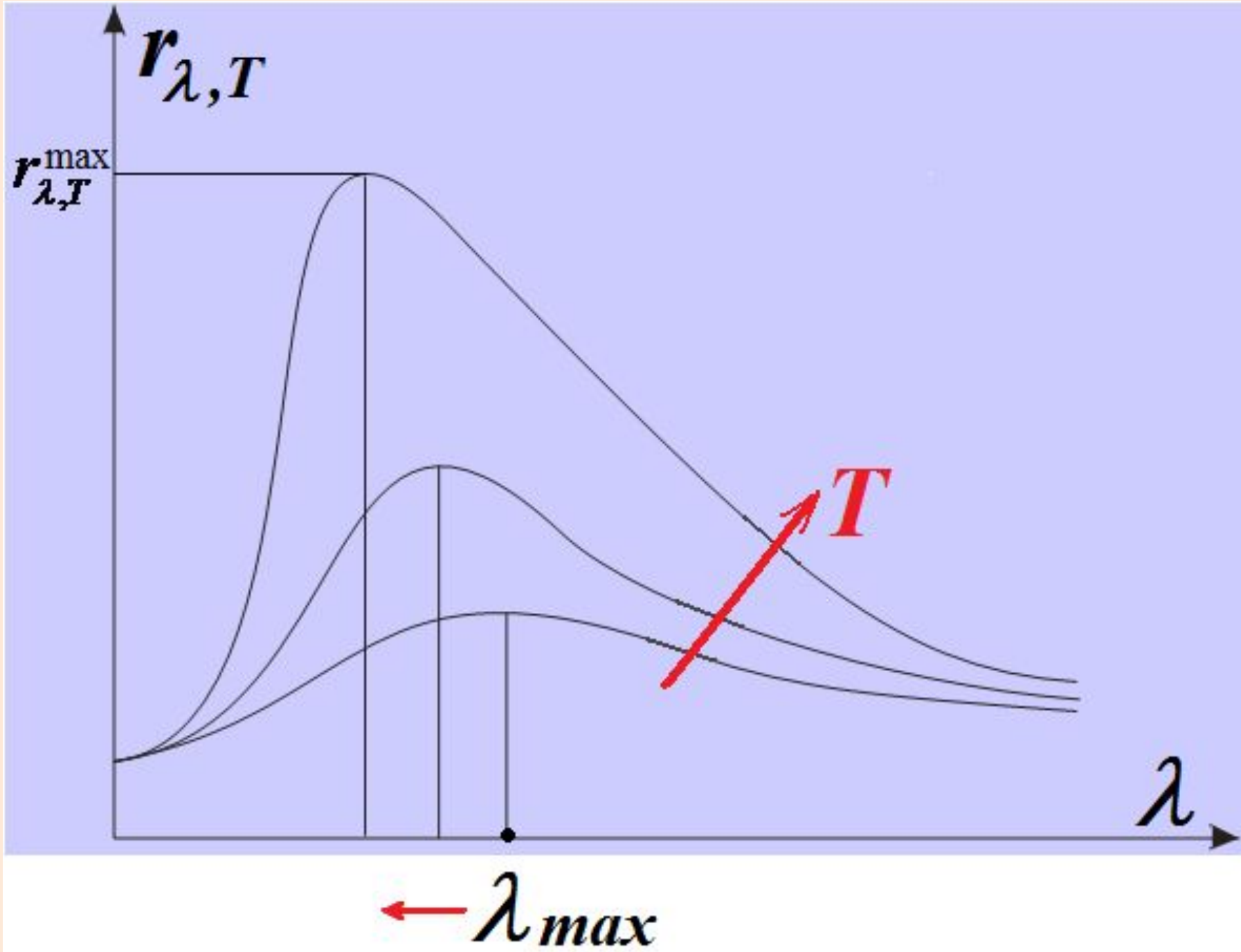


Таблица цветности излучения АЧТ

Таблица цветности излучения абсолютно чёрного тела^[1]

Температурный интервал в Кельвинах	Цвет
до 1000	Красный
1000—1500	Оранжевый
1500—2000	Жёлтый
2000—4000	Бледно-жёлтый
4000—5500	Желтовато-белый
5500—7000	Чисто белый
7000—9000	Голубовато-белый
9000—15000	Бело-голубой
15000—∞	Голубой

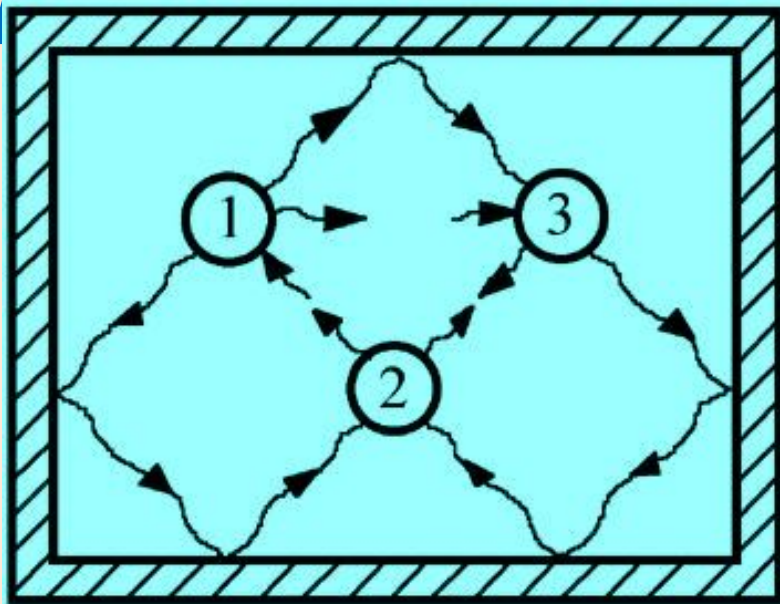
Второй закон Вина

$$r_{\nu, T}^{\max} = b_2 T^5$$

$$b_2 = 1,3 \cdot 10^{-5} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^3 \cdot \text{К}^5}$$

Теории теплового излучения

1. Классическая теория Рэля-Джинса



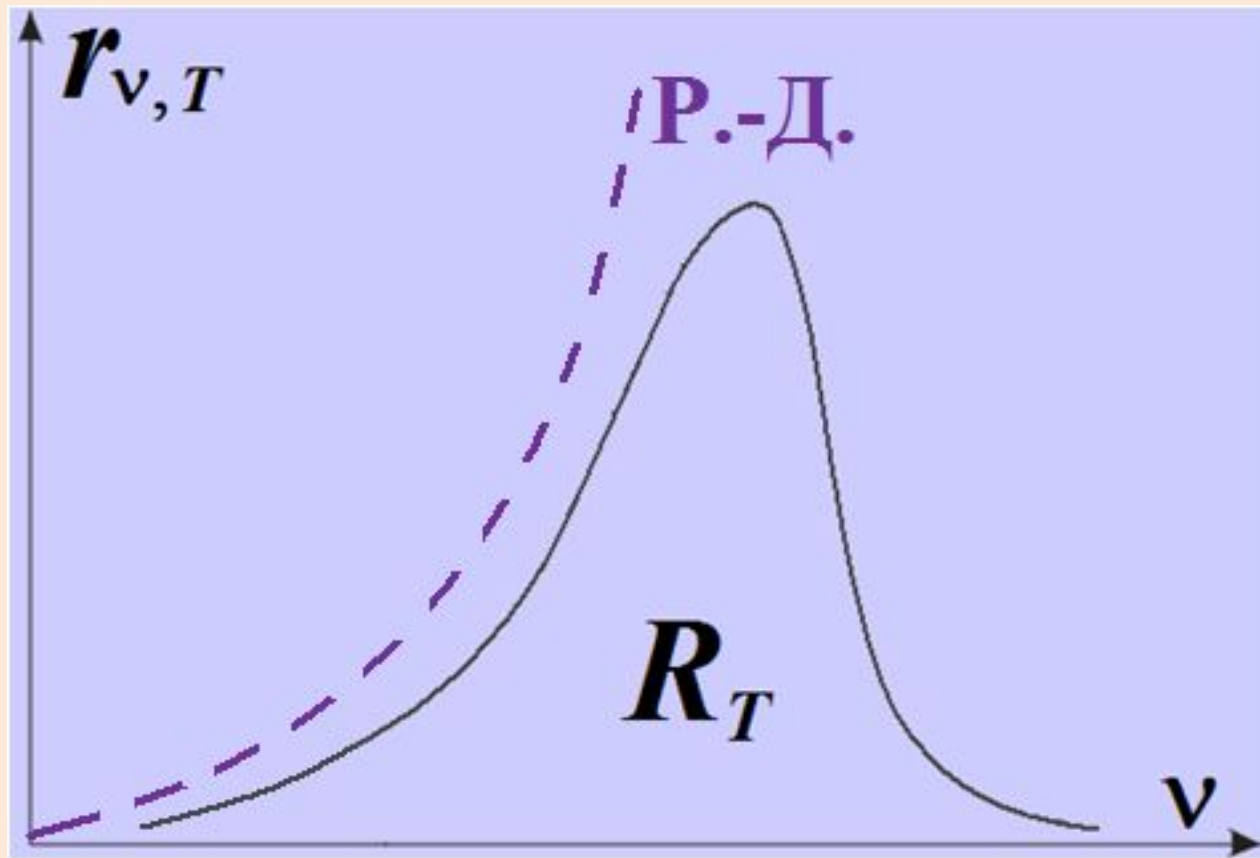
Рассматривалось
равновесное
тепловое
излучение в
полости на основе
термодинамического
подхода.

Положения теории:

- равновесное тепловое излучение в полости представляет собой систему стоячих электромагнитных волн;
- на каждое электромагнитное колебание приходится в среднем энергия $\langle \varepsilon \rangle = kT$.

Формула Релея-Джинса:

$$r_{\nu, T} = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} \langle \varepsilon \rangle = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} kT$$



“Ультрафиолетовая катастрофа”

При малых длинах волн формула Релея — Джинса дает увеличение спектральной светимости до бесконечности.

Также

$$R_T = \int_0^{\infty} r_{\nu,T} d\nu = \int_0^{\infty} \frac{2\pi\nu^2}{c^2} kT d\nu = \frac{2\pi\nu^3}{3c^2} kT \Big|_0^{\infty} = \infty.$$

Согласие с опытом есть только для длинных волн.

2. Квантовая гипотеза

Планка

Планк предположил, что электромагнитное излучение испускается и поглощается дискретными порциями энергии — квантами электромагнитного поля (фотонами).

Энергия кванта: $\varepsilon = h\nu = h \frac{c}{\lambda}$

h – постоянная Планка

$h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ Дж·с

Ил $\varepsilon = \hbar \omega$

$\hbar = \frac{h}{2\pi}$ – приведенная постоянная Планка.

Формула Планка

$$r_{\nu, T} = 2\pi \frac{h\nu^3}{c^2} \cdot \frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1}$$

**Хорошо согласуется с опытом.
Позволяет получить законы
теплового излучения и
вычислить содержащиеся в
них константы.**

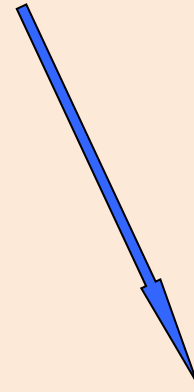
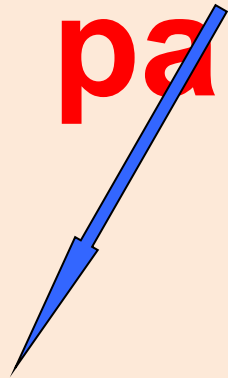
Оптическая пирометрия

Это совокупность методов определения температуры тела по его излучению.

Методы пирометрии не требуют контакта аппаратуры с исследуемым телом, позволяют измерять высокие температуры и температуры удаленных тел.

температу

ра



**радиационн
ая**

**яркостн
ая**

**цветов
ая**

Радиационная температура – это такая температура АЧТ, при которой его интегральная энергетическая светимость равна светимости исследуемого тела.

$$T_p = \sqrt[4]{\frac{R_T}{\sigma}}$$

**Яркостная температура –
это такая температура АЧТ,
при которой для
определенной длины волны
его спектральная плотность
излучения равна
спектральной плотности
излучения исследуемого
тела.**

Цветовая температура – это такая температура АЧТ, при которой отношение энергетических яркостей для двух длин волн его спектра равно отношению этих же величин для спектра исследуемого источника света.

При этой температуре АЧТ
испускает излучение с той же
хроматичностью (цветностью),
что и рассматриваемое тело.
Характеризует видимый цвет
источника.

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

Сравнительная шкала цветовых температур

1. Небо в северных широтах

(К)

20,000
15,000
10,000
7,000
6,500
6,000
5,500
5,000
4,500
4,000
3,500
3,000
2,500
2,000

2. Пасмурное небо

3. Пасмурное небо в полдень

4. Небо через 2 часа после восхода и за 2 часа до захода солнца.

5. Небо через 1 час после восхода и за 1 час до захода солнца.

6. Небо накануне восхода и захода солнца.



Люминесцентные лампы



Металлогалогенные



Люминесцентные лампы
Ртутные лампы, МГЛ



Металлогалогенные лампы



Галогенные лампы



Лампы накаливания

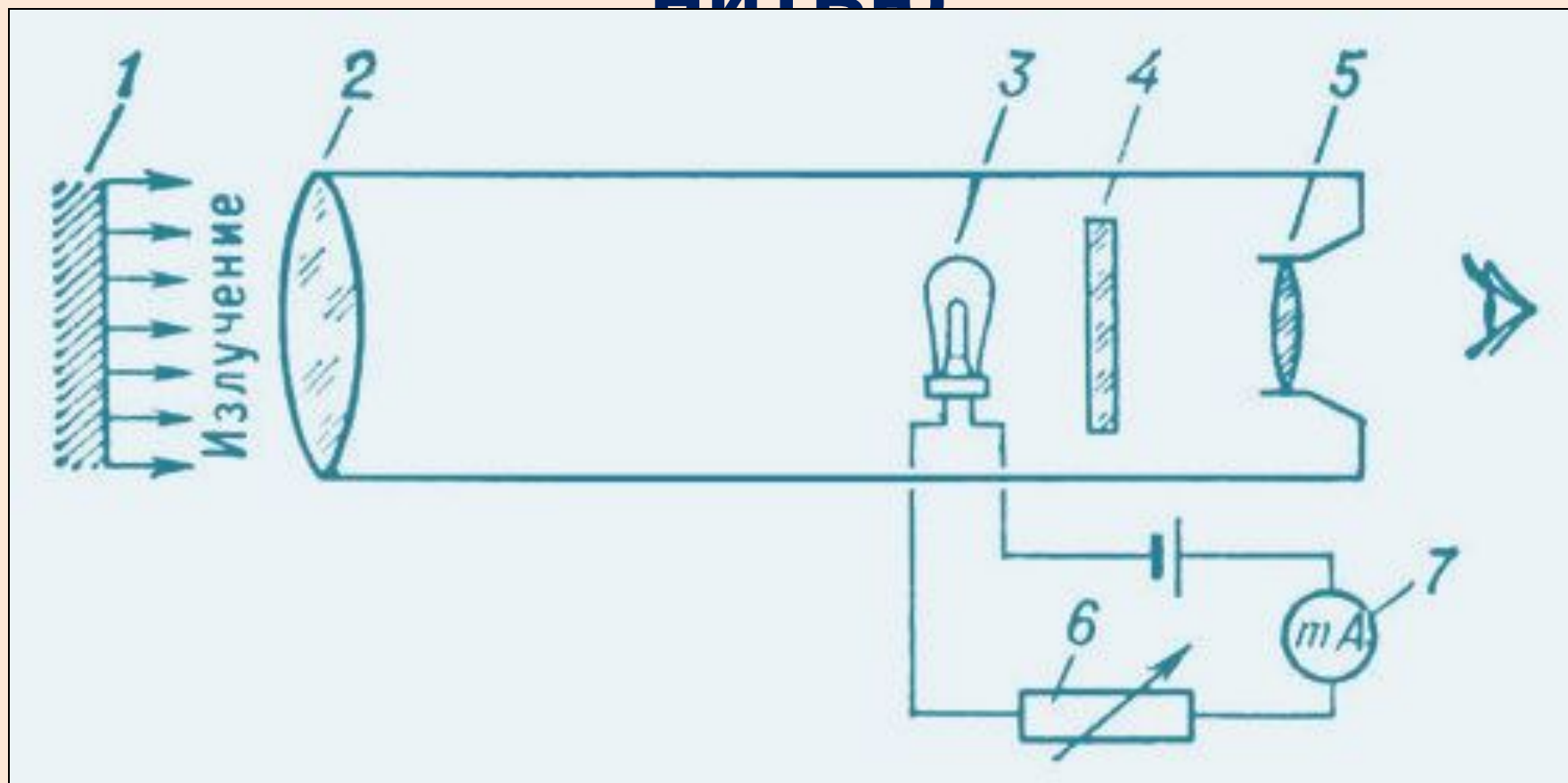


Пламя свечи

Шкала цветовых температур

- **800 K** — начало видимого темно-красного свечения раскалённых тел
- **2000 K** — свет пламени свечи
- **2360 K** — вакуумная лампа накаливания
- **2800—2854 K** — газонаполненная лампа накаливания
- **3200—3250 K** — типичные киносъёмочные лампы
- **5500 K** — прямой солнечный дневной свет
- **6500 K** — стандартный источник дневного белого света
- **7500 K** — дневной свет, с большой долей рассеянного света от чистого голубого неба

Схема пирометра с исчезающей нитью



1- источник излучения, 2 - оптическая система,
3 – эталонная лампа накаливания, 4 – фильтр с узкой полосой пропускания, 5 – объектив

Пирометр



Применение пирометров



Тепловизор

