

Отражение и пречупване	Лъчи	Геометрична оптика
Дисперсия, интерференция, дифракция, поляризация	Електромагнитни вълни	Вълнова оптика
Топлинно излъчване Фотоелектричен ефект	Фотони	Квантова оптика

Топлинно излъчване

- Топлинно излъчване
 - Равновесно топлинно излъчване
 - Излъчване и поглъщане на телата
 - Закон на Кирхоф
 - Връзка между обемно- спектралната плътност и излъчвателната способност
- Класически закони на топлинното излъчване
 - Експериментални резултати
 - Теоретични закономерности: закон на Стефан и закон на Вин
- Хипотеза и формула на Планк за излъчвателната способност на абсолютно черно тяло

Топлинно излъчване

- Електромагнитно излъчване, възникващо за сметка на *вътрешната енергия на излъчващо тяло* и зависещо само от температурата и оптичните свойства на това тяло се нарича *топлинно излъчване*.
- Тела, нагreti до различни температури и намиращи се в вакуум са изолирани от останалите тела чрез огледална обвивка, изцяло отразяваща попадналото върху нея излъчване.
 - С течение на времето такава система достига *термодинамично равновесие*, в което телата имат една и съща температура.
 - Енергията, която се излъчва от определена повърхност на кое да е тяло за даден интервал от време е равна на енергията погълната от същата повърхност за същото време, т.е. установява се състояние на *термодинамично равновесие* между процесите на излъчване и поглъщане на енергия
 - Излъчването, намиращо се в състояние на *термодинамично равновесие* с телата се нарича *равновесно топлинно излъчване*

Равновесно топлинно излъчване

- *Равновесното топлинно излъчване* зависи от температурата T на телата, с които е в равновесие
- Температура на *равновесното топлинно излъчване* - температурата на телата, с които лъчението е в равновесие
- *Обемно-спектрална плътност на енергията на равновесното топлинно излъчване* – количеството ЕМ енергия в единичен честотен интервал около честотата ν , в единица обем от пространството

$$\rho(\nu, T) \left[J / (m^3 \cdot Hz) \right]$$

- *Обемна плътност на енергията на равновесното топлинно излъчване*

$$w(T) = \int_0^{\infty} \rho(\nu, T) d\nu \left[J / m^3 \right]$$

Излъчвателна способност на телата

- *Излъчвателна способност (спектрална излъчвателна способност)* - излъчената енергия за единица време, от единица площ на тялото, в единичен честотен интервал около честотата ν :

$$r_{\nu}(T) \left[W / (m^2 \cdot Hz) = J / m^2 \right]$$

- *Интегрална (пълна) излъчвателна способност* - излъчената енергия за единица време, от единица площ на тялото, в целия диапазон честоти:

$$R(T) = \int_0^{\infty} r_{\nu}(T) d\nu \left[W / m^2 \right]$$

- *Мощност на излъчването* - излъчената енергията за единица време, от тяло с площ A , в целия диапазон от честоти :

$$P(T) = A R(T) [W]$$

- *Енергия на излъчването* - излъчената излъчена за време t , от тяло с площ A , в целия диапазон от честоти:

$$E(T) = P(T) \Delta t = A R(T) \Delta t [J]$$

Поглъщателна способност на телата

- *Поглъщателна способност* на тяло - дефинира се с отношението на погълнатата към падналата електромагнитна енергия за единица време, върху единица площ и в единичен честотен интервал около честотата ν :

$$a_{\nu}(T)$$

- безразмерна величина.
- Тяло, което при всяка температура изцяло поглъща попадналото върху него ЕМ излъчване независимо от неговия спектрален състав, състояние на поляризация и посока на разпространение се нарича *абсолютно черно тяло* (АЧТ).
 - *Поглъщателната способност* на АЧТ е 1:

$$a_{\nu}(T) = 1$$

- Примери: сажди, черен бархет

Закон на Кирхоф

- Отношението на *излъчвателната способност* към *поглъщателната способност* не зависи от материала на тялото и зависи само от температурата!

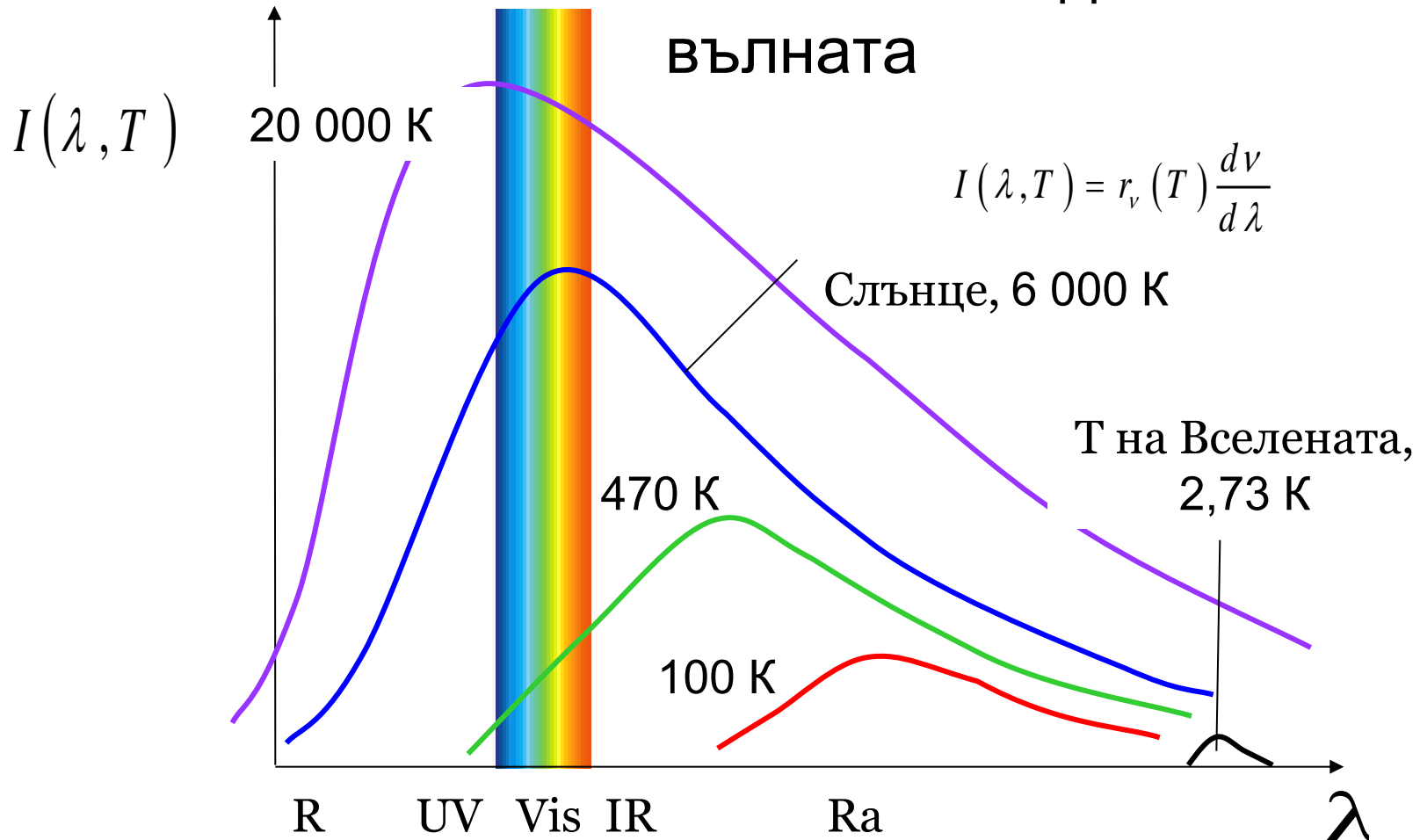
$$r_{\nu}(T)/a_{\nu}(T) = f(\nu, T) \left[W / (m^2 \cdot Hz) = J / m^2 \right]$$

- За АЧТ универсалната функция на Кирхоф съвпада с *излъчвателната способност*, тъй като по определение *поглъщателната способност* е 1.
- Връзка между *обемната - спектрална плътност* и *универсалната функция на Кирхоф*

$$f(\nu, T) = c \rho(\nu, T) / 4$$

- Основната задача в теорията на топлинното излъчване е описанието на *универсалната функция на Кирхоф* или *излъчвателната способност на АЧТ*
 - Класическа теория: закон на Стефан и закон на Вин
 - Модерна физика: хипотеза на Планк

Експериментална зависимост на излъчвателната способност от дължината на вълната



- Разпределена е неравномерно по спектъра
- С повишаване на температурата максимума се измества към по-високите честоти

Закон на Стефан и закон на Вин

- Закон на Стефан: мощността на топлинното излъчване на загрято тяло, е пропорционална на площта на излъчващата повърхност A и на четвъртата степен на нейната абсолютна температура:

$$P = \sigma AT^4 = AR \quad (P = e\sigma AT^4)$$

$$R = \sigma T^4$$

където σ е константата на Стефан: $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \left[W / (m^2 \cdot K^4) \right]$, а безразмерният параметър e се нарича излъчваемост и в зависимост от повърхността взема стойности от 0 до 1.

- Закон на Вин: Произведението от дължината на вълната на която излъчвателната способност на АЧТ има максимум, и абсолютната температура на АЧТ, остава постоянно:

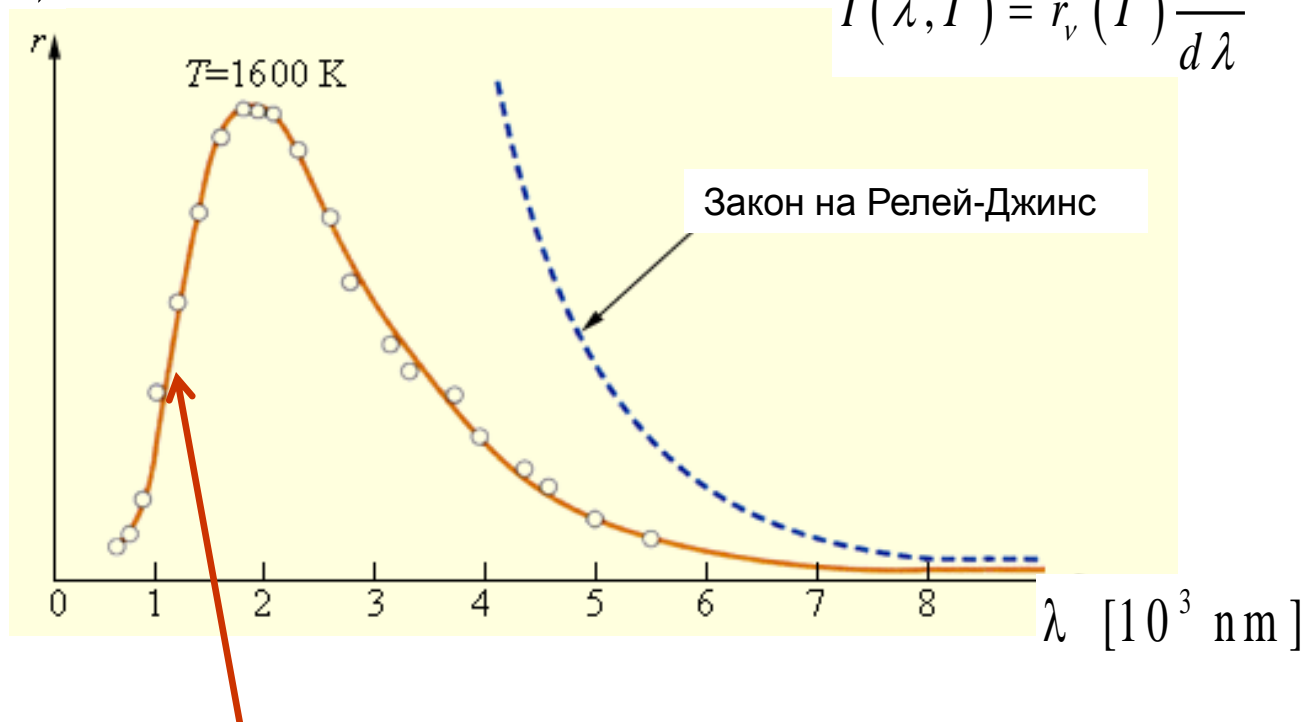
$$\lambda_{\max} T = b; b = 2,9 \cdot 10^{-3} [m.K]$$

където b е константата на Вин.

Зависимост на излъчвателната способност на АЧТ от дължината на вълната

$$I(\lambda, T)$$

$$I(\lambda, T) = r_v(T) \frac{d\nu}{d\lambda}$$



- *Кафявата крива – теоретичен резултат в съответствие с формулата на Планк за излъчвателна способност на АЧТ – точно описва експерименталните данни!*

Хипотеза и формула на Планк за излъчвателната способност на АЧТ

- Електромагнитното лъчение се излъчва на електромагнитни (светлинни) кванти носещи енергия :

$$E = h\nu = h \frac{c}{\lambda}, h = 6,626 \cdot 10^{-34} [J \cdot s]$$

където h е константата на Планк.

- Важно:

$$1eV = 1,6 \cdot 10^{-19} J$$

- Формула на Планк за излъчвателна (спектралната излъчвателна) способност на АЧТ:

$$r_{\nu}(T) = \left(\frac{2\pi \nu^2}{c^2} \right) h \nu / \left(\exp\left(\frac{h \nu}{kT} \right) - 1 \right)$$