

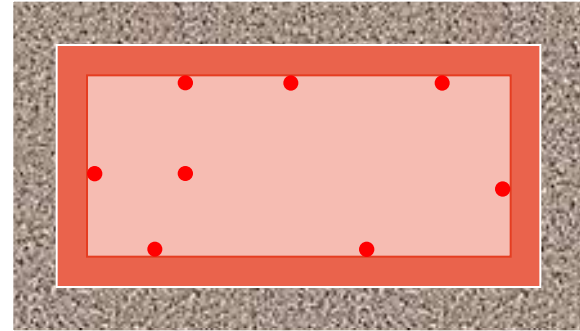
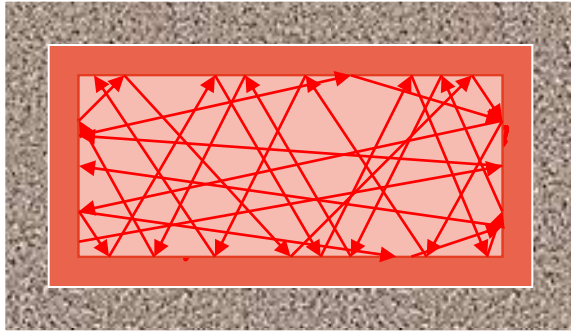
Тема 2. Тепловое излучение

- 2.1. Функция распределения Планка



Планк Макс (23.IV.1858–4.X.1947)

Газ фотонов в равновесии с термостатом



$$s_{\phi} = 1$$

$$\varepsilon_n = h\nu_n = \hbar\omega_n$$

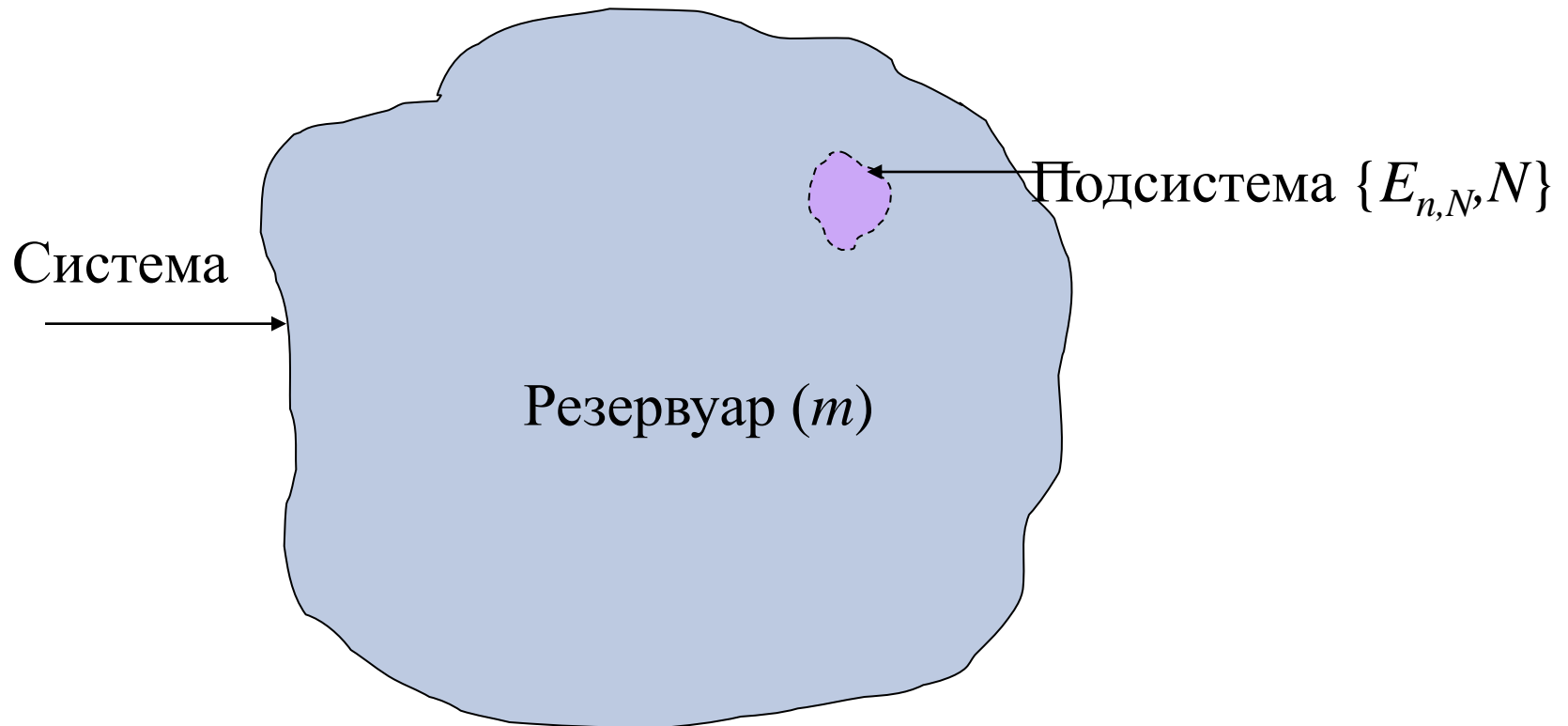
При выводе распределений Гиббса и Бозе-Эйнштейна

Энергия системы

$$E_0 = E_{n,N} + (E_0 - E_{n,N}) = \text{const}$$

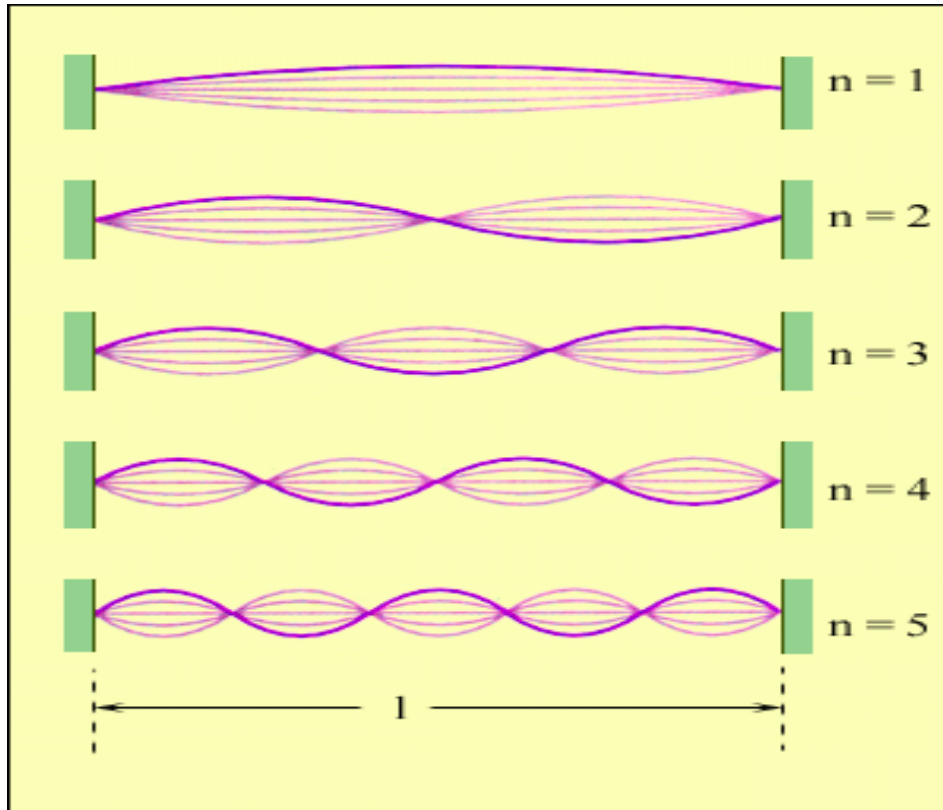
Число частиц системы

$$N_0 = N + (N_0 - N) = \text{const}$$



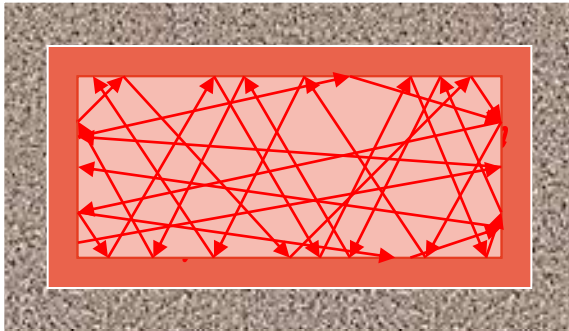
Для фотонов $N \neq \text{const}$ и $\mu_\phi = ?$

Первые пять нормальных мод ЭМВ в полости



Каждая мода является осциллятором
с энергией $0\varepsilon, 1\varepsilon, 2\varepsilon, \dots, n\varepsilon$ и т.д.,
$$\varepsilon = \hbar\omega$$

Рассмотрим моду как подсистему,
находящуюся в тепловом контакте
с резервуаром



См. Раздел 3, Тему 1, п.1.3
(Вывод распределения Бозе-Эйнштейна)

$$\langle N_{\omega} \rangle = \frac{1}{e^{\frac{\hbar\omega}{kT}} - 1}$$

- *распределение Планка (число фотонов, заселяющих моду с частотой ω в тепловом равновесии)*

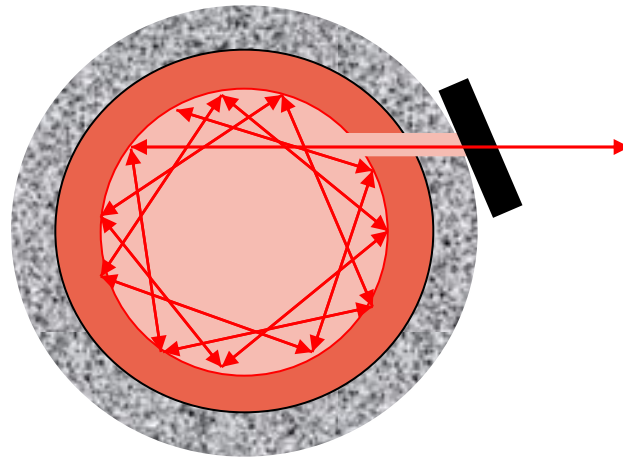
Тема 2. Тепловое излучение

- 2.2. Закон излучения Планка

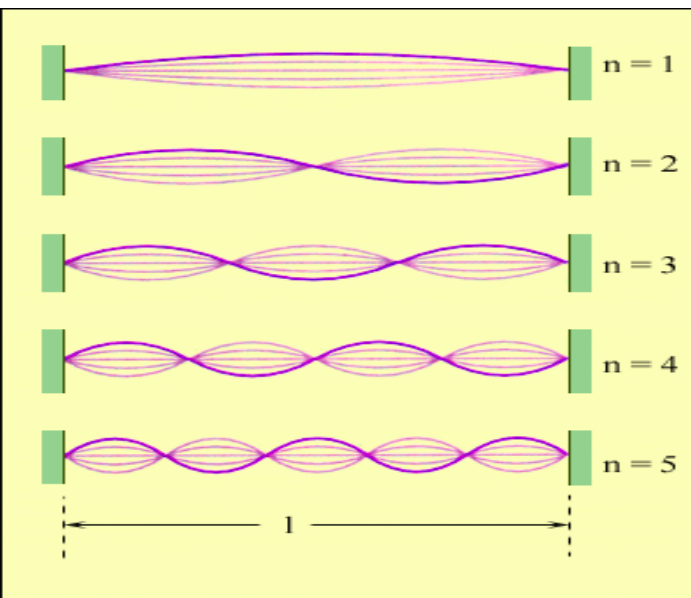
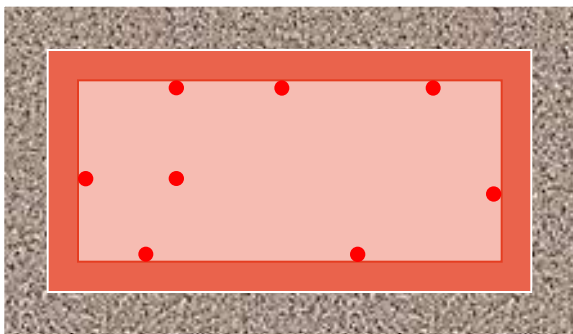


Планк Макс (23.IV.1858–4.X.1947)

Модель абсолютно черного тела



ЭМВ в ПОЛОСТИ $V=L_1L_2L_3$

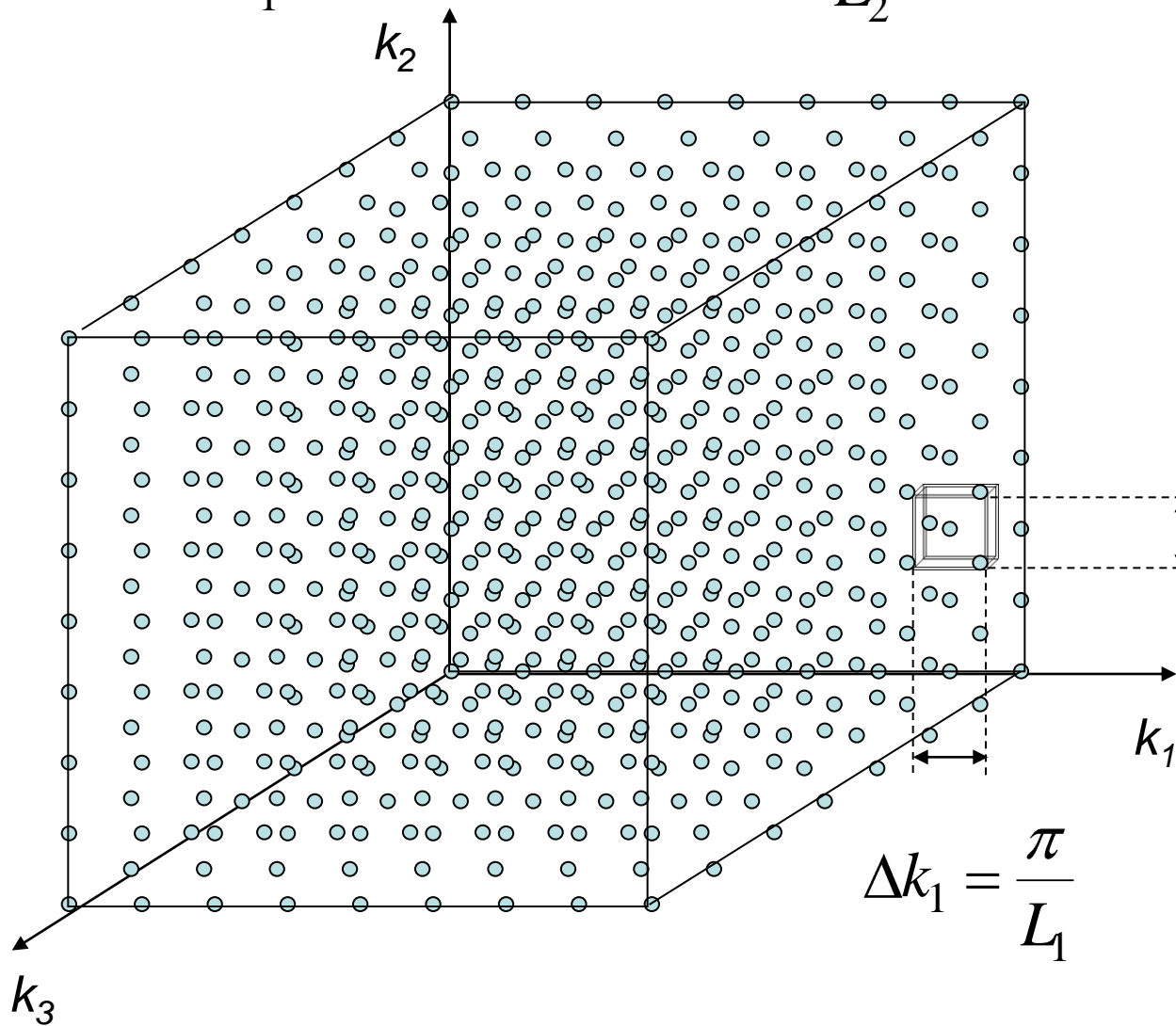


$$k_1 = \frac{\pi}{L_1} n_1$$

$$k_2 = \frac{\pi}{L_2} n_2$$

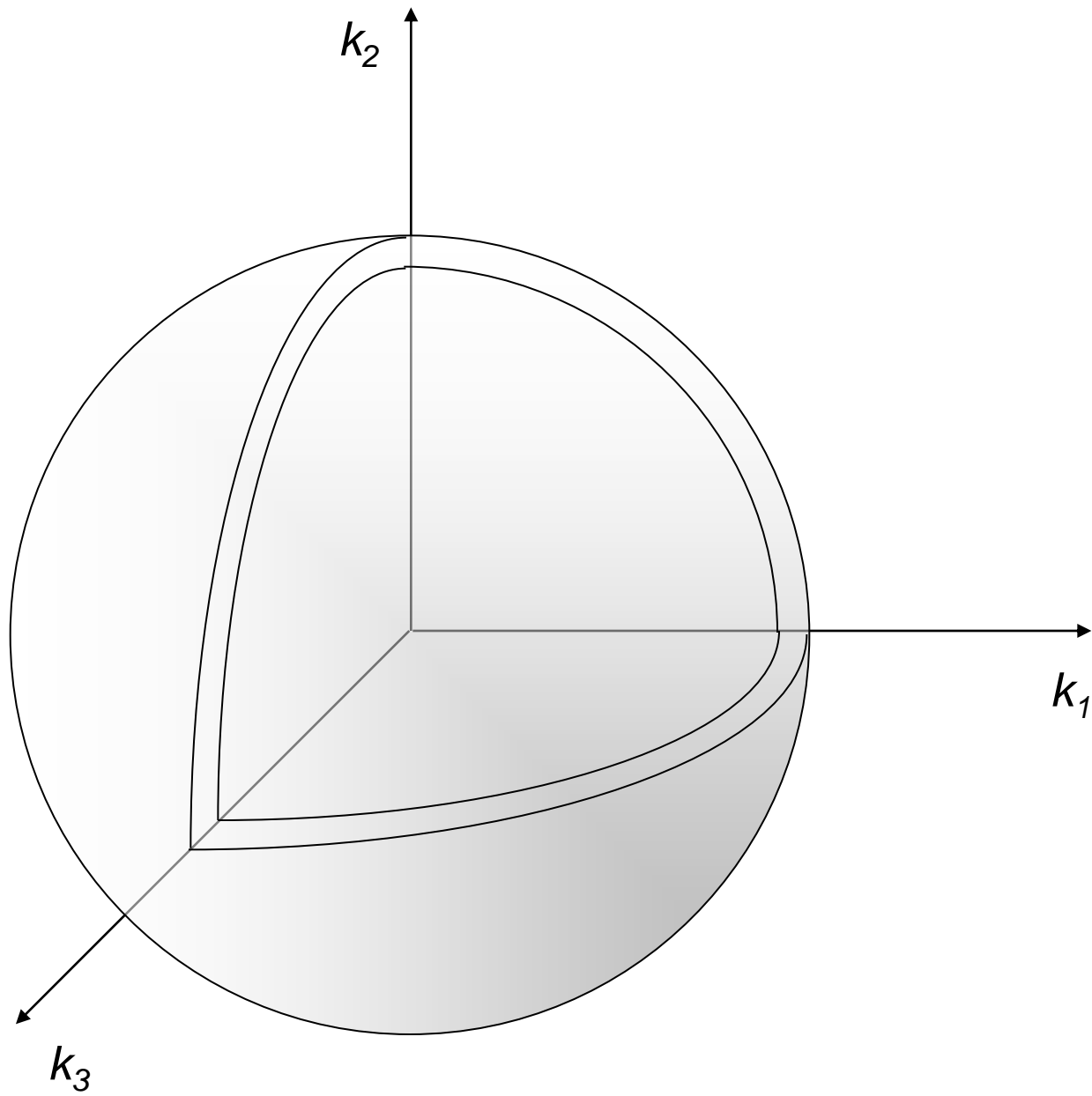
$$k_3 = \frac{\pi}{L_3} n_3$$

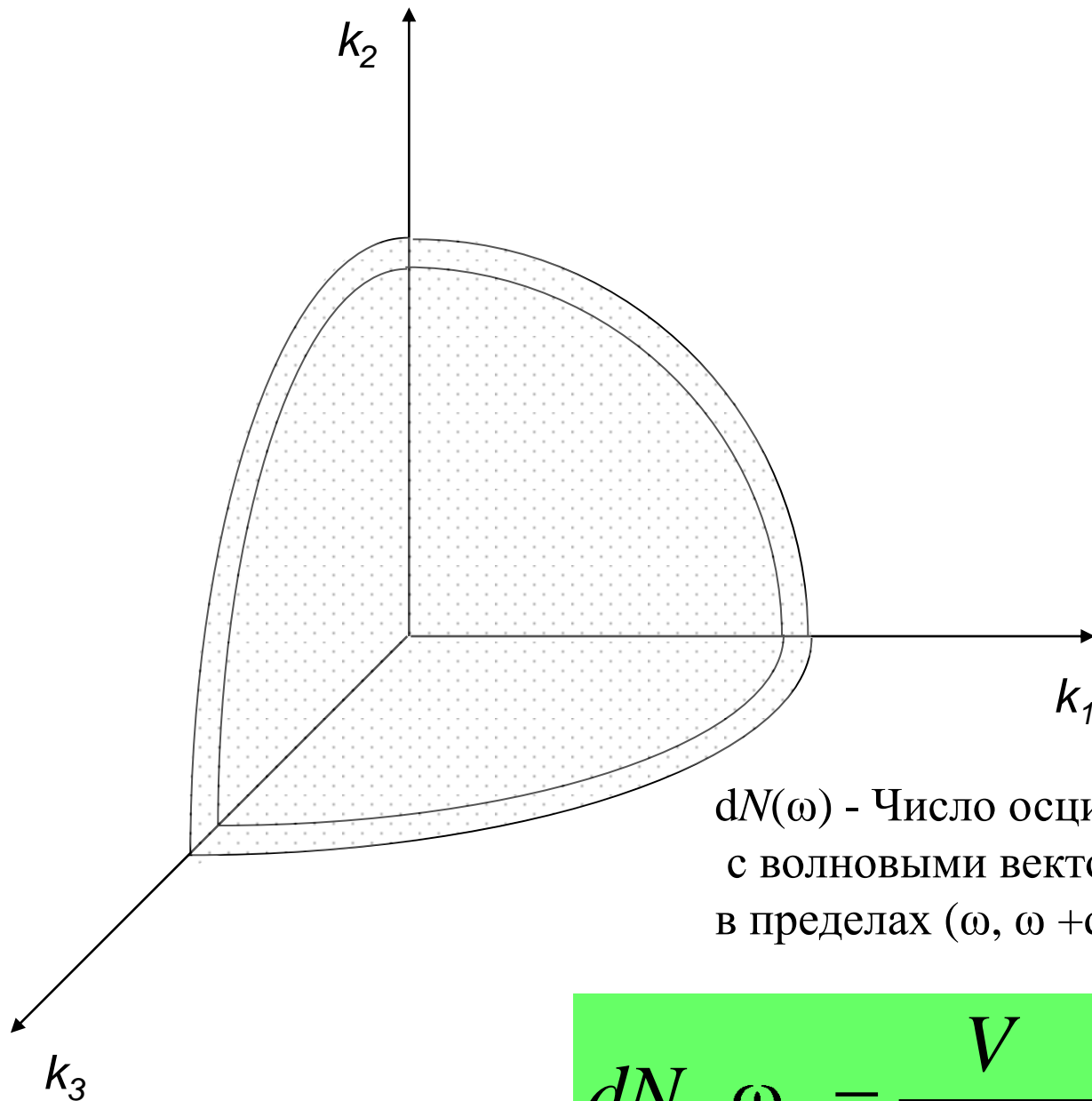
$$n = 1, 2, 3, \dots$$



$$\Delta k_2 = \frac{\pi}{L_2}$$

$$\Delta k_1 = \frac{\pi}{L_1}$$



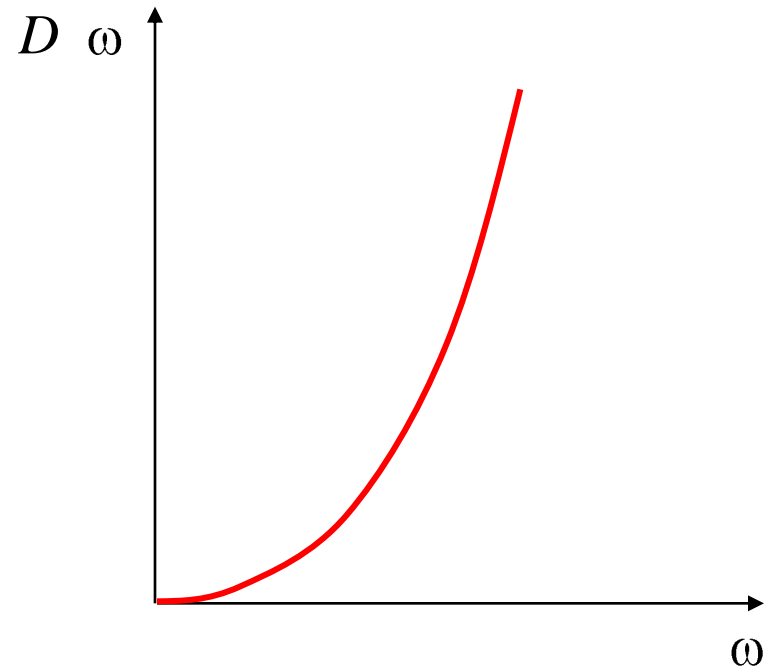


$dN(\omega)$ - Число осцилляторов
 с волновыми векторами
 в пределах $(\omega, \omega + d\omega)$

$$dN_{\omega} = \frac{V}{\pi^2 \cdot c^3} \omega^2 d\omega$$

Спектральная плотность мод

$$D(\omega) = \frac{V}{\pi^2 \cdot c^3} \omega^2$$



Энергия электромагнитного излучения в объеме V в интервале частот $d\omega$

Классическая статистика

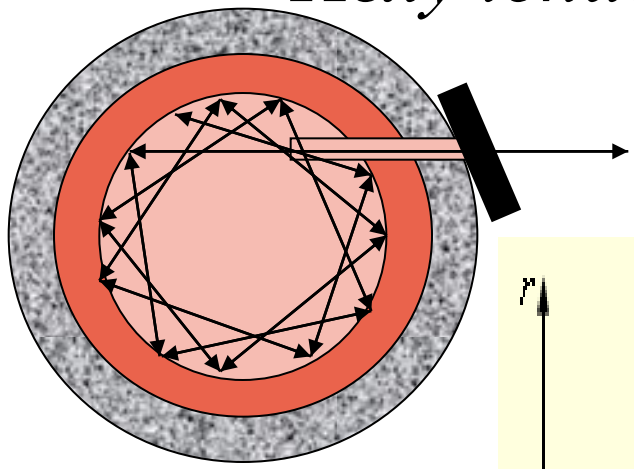
$$\begin{aligned}d\mathcal{E}_{\omega, T} &= \\&= 2 \frac{1}{2} kT \cdot dN_{\omega} = \\&= kT \cdot D_{\omega} \cdot d\omega = \\&= U(\omega, T) \cdot d\omega\end{aligned}$$

Коэфф. 2 учитывает вклад энергии
электрического и магнитного полей

Квантовая статистика

$$\begin{aligned}d\mathcal{E}_{\omega, T} &= \\&= \hbar\omega \cdot \langle n \rangle \cdot dN_{\omega} = \\&= \hbar\omega \cdot \langle n \rangle \cdot D_{\omega} \cdot d\omega = \\&= U(\omega, T) \cdot d\omega\end{aligned}$$

Излучение из отверстия

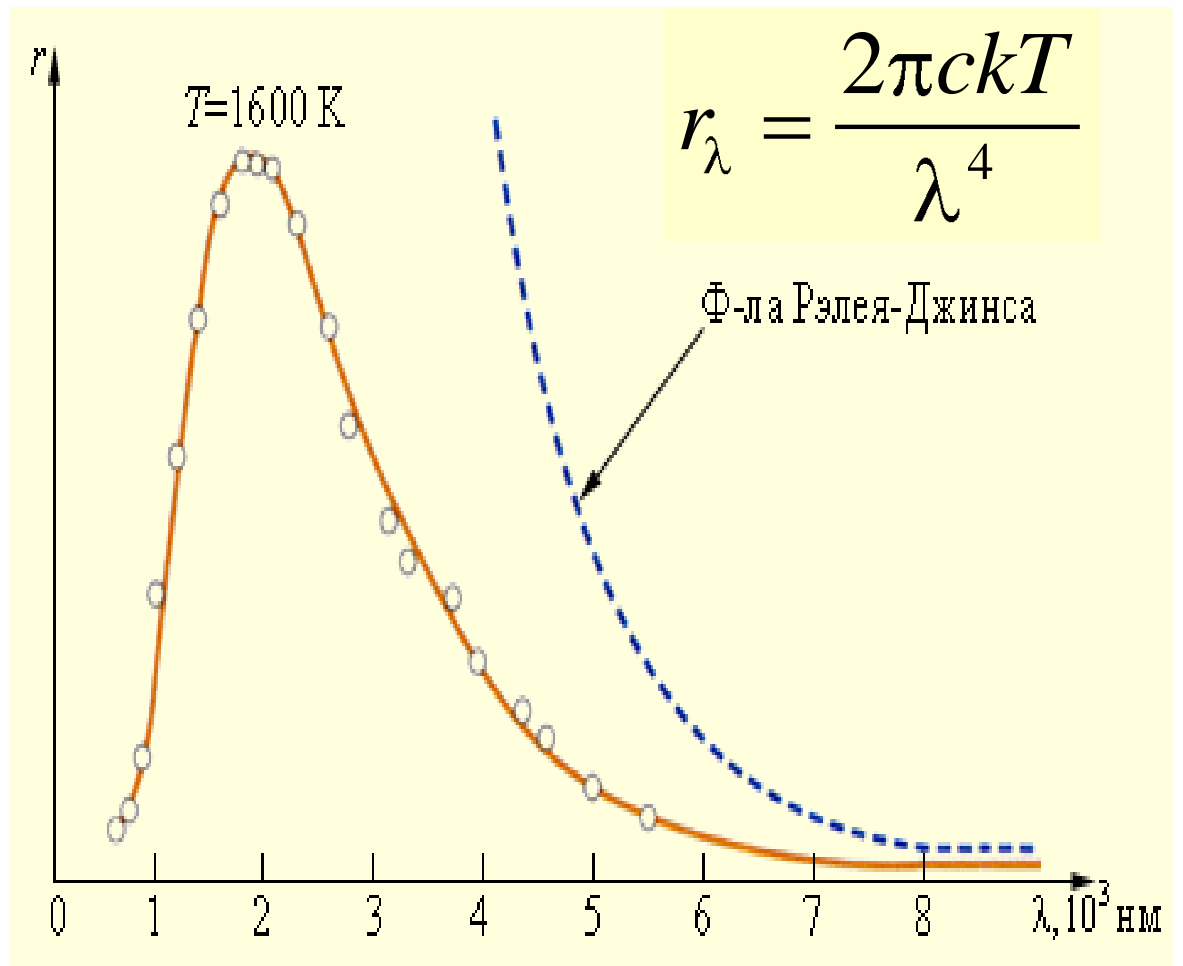


Формула
Рэля-Джинса

$$r_{\lambda} = \frac{2\pi ckT}{\lambda^4}$$

Формула
Планка

$$r_{\lambda} = \frac{2\pi \cdot h \cdot c^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1}$$



Тема 2. Тепловое излучение

- 2.3. Закон Стефана-Больцмана и закон Вина



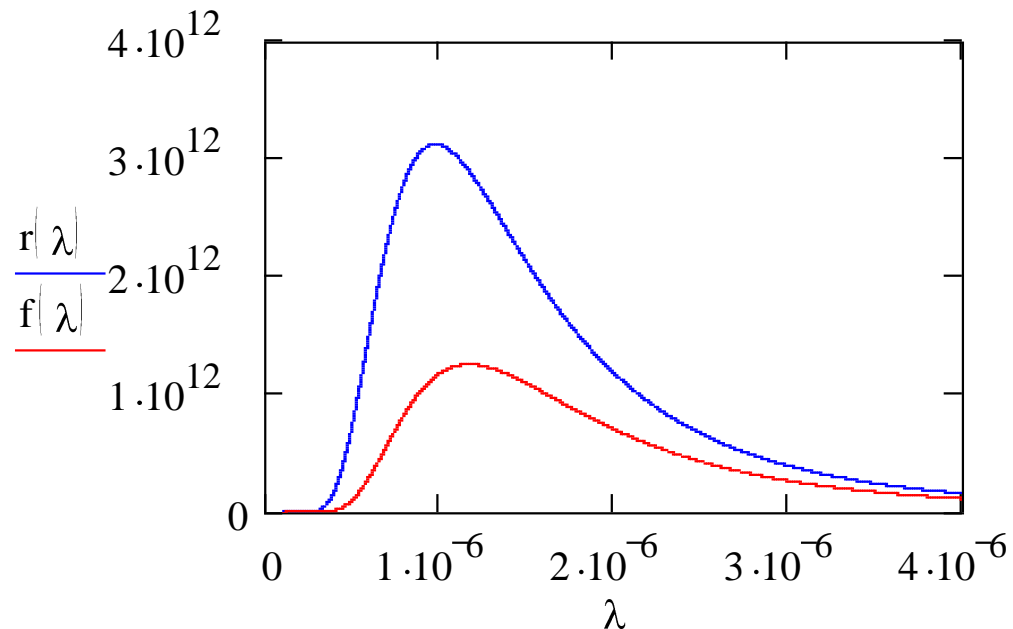
Планк Макс (23.IV.1858–4.X.1947)

$$h := 6.62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{sec} \quad k := 1.38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}} \quad c := 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

$$T_1 := 3000 \text{ K} \quad r(\lambda) := \frac{2 \cdot \pi \cdot h \cdot c^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{\exp\left(\frac{h \cdot c}{k \cdot T_1 \cdot \lambda}\right) - 1}$$

$$T_2 := 2500 \text{ K} \quad f(\lambda) := \frac{2 \cdot \pi \cdot h \cdot c^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{\exp\left(\frac{h \cdot c}{k \cdot T_2 \cdot \lambda}\right) - 1}$$

$$\lambda := 0.1 \cdot 10^{-6} \text{ m}, 0.101 \cdot 10^{-6} \text{ m}..4 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$



Спектральное распределение $r(\lambda, T)$ излучения
черного тела при различных температурах.

