Лекция №1 (03.09.20)

I Что будем изучать?

Квантфиз изучает явления на микроуровне.

Явления на микроуровне опред. част. случаями

II Не думайте, что будет легко и ясно.

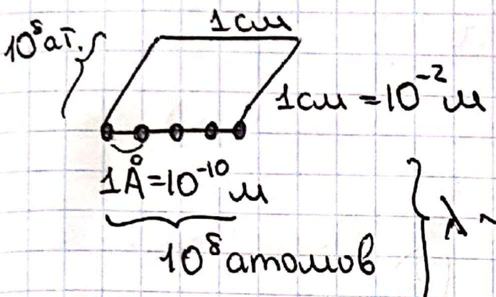
Квантфиз - ровесница 20 столетия, исп. квантмех.

Нет осязаемых моделей.

Rem фотоэффект - свет, падая на Me, выбивает из него e.

Засвечиваем катод

$10^8 \cdot 10^8 \cdot 10^4$ атомов в катоде



$\lambda \sim 10^{-6}$ м

проникает волна внутрь

ЭМ волна, взаим. с таким большим числом атомов, сможет выбить только ч/з 300 лет (накоп. дост. энергии)

$\Downarrow$

не объясн. класс. физ

(у волны есть возм-ть сфокус. всю E на 1 атоме - - квант)

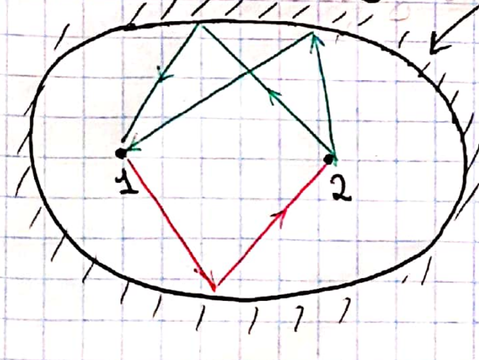
Таких примеров оч. много.

III Планк

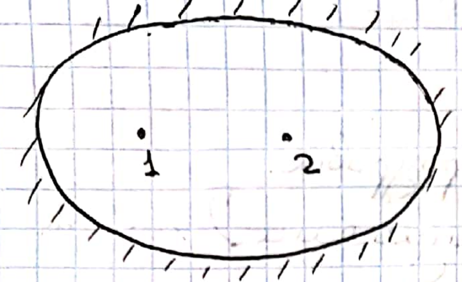
ф-ла, опис. спектр. хар-ки равновесного излучения.

* 2 тела, обмен. ЭМ излучением и имеющие один. темп-ру T

эллипсоид, абс. отражающая пов-ть



• пусть $W_1^{изл}$ и $W_2^{изл}$ – излучаемая каждым телом энергия (эрг/с)



• Есть еще $W_1^{отр}$ и $W_2^{отр}$ – отраженные телами потоки

$W_1^{уход} = W_1^{изл} + W_1^{отр}$ – полный поток, уход. от 1 тела

• A – поглощат. способность тела:

$A = \dfrac{W^{погл}}{W^{пад}}$; 1–A – отражательная способность.

$W_1^{отр} = (1-A_1) \cdot W_2^{уход}$

весь поток от 2 тела падает на 1.

Тогда $\boxed{W_1^{уход} = W_1^{изл} + (1-A_1) W_2^{уход}}$ (*)

Аналог. $W_2^{уход} = W_2^{изл} + (1-A_2) W_1^{уход}$

Равновесие: $\boxed{W_1^{изл} = A_1 W_2^{уход}}$ (**)

излученный поток, поглощенный поток

$\boxed{W_2^{изл} = A_2 W_1^{уход}}$

(**) → в (*)

$W_1^{уход} = A_1 W_2^{уход} + (1-A_1) W_2 = W_2^{уход}$

⇓

$W_1^{уход} = W_2^{уход}$ ← ∀ 2 тел с одной T.

Вывод: уходящая от тела энергия не зависит от конкретных св-в тела

⇒ ∃ равновесное излучение

Разделим (**) с учетом $W_1^{уход} = W_2^{уход}$

$$\frac{W_1^{изл}}{W_2^{изл}} = \frac{A_1}{A_2}$$ ⇒ кол-во энергии, излучаемой телом, ~ коэф-ту поглощения. Th Кирхгофа

Тело с $\underbrace{A = 1}_{\downarrow}$ – абс. черное тело ← Солнце

ничего не отражает

→ дает max возм. излучение при T=const.

Модель АЧТ: → Вильгельм Карл Вернер Отто Фриц Франц Вин (13 янв 1864 – 30 авг 1928)

нагретая полость (нагретые стенки излучают ЭМ изл-е, кот. многократно отраж. и погл. стенками ↳ устан. излучение в равновесии со стенками)

ЗСЭ: $dU = TdS - PdV$ (***)

$$\left.\begin{aligned}\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T &= T\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T - P\\ \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V &= T\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_V\end{aligned}\right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \left.\begin{aligned}\frac{\partial^2 U}{\partial T\partial V} &= T\frac{\partial^2 S}{\partial T\partial V} + \frac{\partial S}{\partial V} - \frac{\partial P}{\partial T}\\ \frac{\partial^2 U}{\partial V\partial T} &= T\frac{\partial^2 S}{\partial V\partial T}\end{aligned}\right\} \Rightarrow \frac{\partial^2 U}{\partial V\partial T} = \frac{\partial^2 U}{\partial T\partial V}$$

$$\Downarrow$$

$$\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T = \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V$$

в (***)

$$\rho = \frac{dU}{dV} = T\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right) - \underbrace{P}_{\rho/3}$$

объем. плотность энергии

$$\frac{4}{3}\rho = \frac{1}{3}T\left(\frac{\partial \rho}{\partial T}\right)$$

$$4\int\frac{dT}{T} = \int\frac{d\rho}{\rho}$$

$$4\ln T = \ln\rho + \ln c$$

$$\ln T^4/\rho = \ln c \Rightarrow \boxed{\rho = \sigma_{сб} T^4}$$ – з-н Стефана-Больцмана

постоянная Стефана-Больцмана

Посмотрим на $\sigma_{СБ}$ в терминах спектр. плотности:

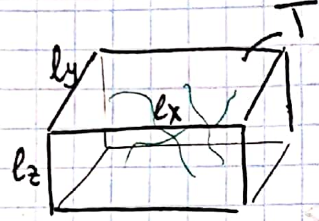
$$\sigma_{СБ} = \frac{\rho}{T^4} = \int_0^\infty \frac{d\rho}{d\omega} \cdot \frac{d\omega}{T^4}$$ – не зависит ни от T, ни от ω! (она постоянная)

Введем $x = \frac{\omega}{T}$; $F(x)$ – неиз. ф-я x

$$\sigma_{СБ} = \int_0^\infty \frac{d\rho}{d\omega} \cdot \frac{1}{\omega^3} \cdot \frac{dx}{x^3}$$ – не зависит от ω

спектр. плотность → $$\boxed{\frac{d\rho}{d\omega} = \omega^3 \cdot F\left(\frac{\omega}{T}\right)}$$ – 1й закон Вина – не устан. вид F из ТДН соображ. → з-н смещ. Вина / Ст-Б.

Спектр. плотность изл-я – универс. ф-я ω и T. (не имеет смысла говорить об особ-х тел, в равн-и с изл. это изл-е!)



//пипед, Tстенок $= const$

внутри – ЭМ поле (стоячие волны)

целое число полуволн → $k_x = \frac{\pi}{l_x} n_x$, $k_y = \frac{\pi}{l_y} n_y$, $k_z = \frac{2\pi}{l_z} n_z$. , $n_{x,y,z} \in \mathbb{Z}$

$\forall$ из стоячих волн – осциллятор.

Энергия в инт-ле частот $[\omega, \omega + d\omega]$:

$\underbrace{u_\omega}_{\text{спектр. плотность}} d\omega$ \ определяется: dN_ω – число осцилл-в в $(\omega, \omega + d\omega)$

$\langle E \rangle$ – ср. E 1 осцилл.

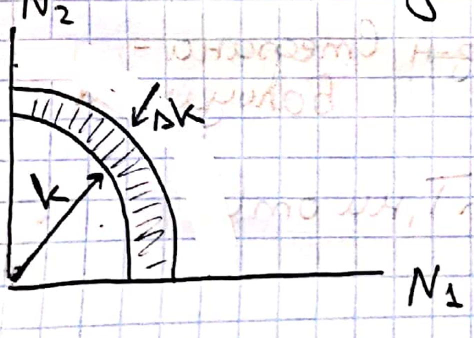
$$\boxed{u_\omega d\omega = \frac{\langle E \rangle \cdot dN_\omega}{V}}$$ V – объем.

- Метод Рэлея: найдем dN_ω

$k = \frac{\omega}{c}$, $L \times L \times L$ – куб

$k_x = \frac{2\pi}{L} N_x$, $k_y = \frac{2\pi}{L} N_y$, $k_z = \frac{2\pi}{L} N_z$, $N_{x,y,z} \in \mathbb{Z}$

$k = \sqrt{k_x^2 + k_y^2 + k_z^2}$



$k = N \cdot \frac{2\pi}{L}$

$N, N + dN$

$$g(N)\,dN = 4\pi N^2 dN$$

$$g(k)\,dk = 4\pi\left(\frac{kL}{2\pi}\right)^2 \cdot \frac{L}{2\pi}dk = \frac{k^2 dk}{2\pi^2}\cdot \underbrace{L^3}_{V}$$

$$\Rightarrow \frac{dN_\omega}{V} = \frac{k^2 dk}{\pi^2} = \frac{\omega^2 d\omega}{c^3\pi^2} \Rightarrow \boxed{\frac{dN_\omega}{V} = \frac{\omega^2}{c^3\pi^2}d\omega}$$ — классика (стоячие волны)

число волн в объеме

умножив на число поляризаций $=2$

• Ищем сред. эн-го осц-ра $\langle E\rangle$:

По Th о равнораспр. энергии осц-ра по ст. свободы

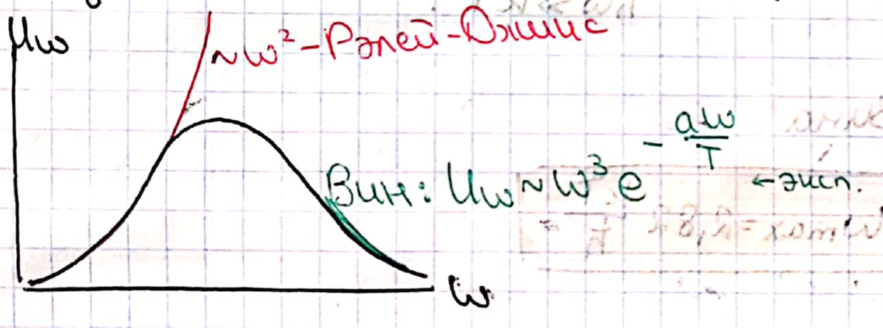
$$\boxed{\langle E\rangle = \underbrace{2}_{\text{ст.св}}\frac{kT}{2} = kT.}$$

• Значит,

$$\boxed{u_\omega d\omega = \frac{dN_\omega}{V}\cdot\langle E\rangle = \frac{\omega^2 d\omega}{\pi^2 c^3}\cdot kT \sim \omega^2 T\, d\omega}$$ — закон Рэлея-Джинса

Проблема использ. ф-лы:

$\int_0^\infty u_\omega d\omega \to \infty$ — „УФ катастрофа" $\Rightarrow$ для высоких частот не работ.



Планк — получил всю кривую ← свет изл./погл. дискр. порциями (квантами)

$\varepsilon_0 = \hbar\omega$. Как догадался?

1) Ср. энергия стоячей волны с ω

$$\bar{\varepsilon}(\omega) = \varepsilon(\omega)\cdot f\left(\frac{\varepsilon(\omega)}{kT}\right)$$

1й зн Вина: $\frac{d\rho}{d\omega} = \omega^3 F\left(\frac{\omega}{T}\right)$

$\Big\} \to \varepsilon(\omega) \sim \omega$

Сканировано с CamScanner

2) $$f\left(\frac{\varepsilon(\omega)}{kT}\right)=\frac{1}{e^{\varepsilon(\omega)/kT}-1}$$

$$f\left(\frac{\varepsilon(\omega)}{kT}\right)=\frac{e^{-\varepsilon(\omega)/kT}}{1-e^{-\varepsilon(\omega)/kT}}=e^{-\frac{\varepsilon}{kT}}\cdot\sum_{n=0}^{\infty}\left\{\exp\left(-\frac{\varepsilon}{kT}\right)\right\}^n=$$

$$=\sum_{n=1}^{\infty}e^{-n\hbar\omega/kT}$$

Ср. энергия осцил.

$$\bar{\varepsilon}(\omega)=\frac{\sum_{n=0}^{\infty}n\hbar\omega\left\{e^{-\frac{n\hbar\omega}{kT}}\right\}}{\sum_{n=0}^{\infty}e^{-n\hbar\omega/kT}}=\frac{\hbar\omega}{\exp\frac{\varepsilon(\omega)}{kT}-1}$$

$$\frac{V\omega^2d\omega}{\pi^2c^3}\cdot\frac{\hbar\omega}{e^{\hbar\omega/kT}-1}\cdot\frac{1}{V}$$

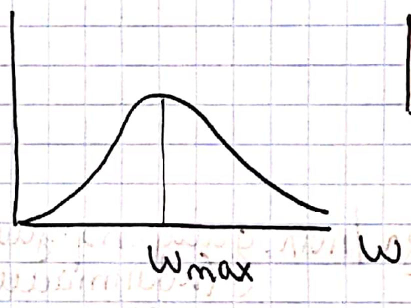
$$\Downarrow$$

$$\boxed{\rho_T(\omega)=\frac{\hbar\omega^3}{\pi^2c^3\left(e^{\hbar\omega/kT}-1\right)}}$$ – распр-е Планка

Рэлей-Джинс при $\hbar\omega\ll kT$

Вин $\hbar\omega\gg kT$.

Закон смещения Вина



$$\boxed{\omega_{max}=2{,}82\frac{kT}{\hbar}}$$

$$u(T)=\int_0^{\infty}\rho_T(\omega)d\omega=\frac{\pi^2k^4}{15\hbar^3c^3}T^4\Rightarrow j=\sigma T^4$$

полная инт-ть, излуч. ед. пов-ти АЧТ