FIZIKA 3

1 EA

2 db ZH, csak 1 pótolható – ajánlott jegy

előadás: Kugler Sándor kugler@eik.bme.hu

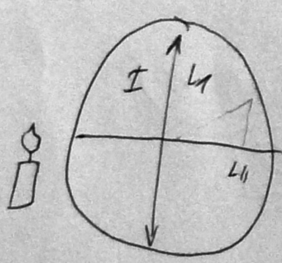
2 ZH → ZH-ként 40% = 2

írásbeli vizsga

könyv: Nagy Károly – Kvantummechanika

Michelson – Morley kísérlet – Kvantummechanika ~1885

(c fénysebesség az éterben, „éter-elmélet")



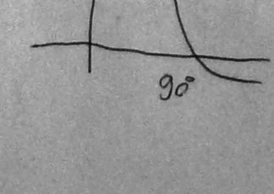
$$t_2 = \frac{L_{\parallel}}{c-v} + \frac{L_{\parallel}}{c+v} = \frac{2 L_{\parallel} c}{c^2-v^2}$$

$$(c t_1)^2 = (v t_1)^2 + L_1^2$$

$$t_1 = \frac{2 L_I}{c^2-v^2}$$

A kísérlettel bebizonyították, hogy nincs éter

fekete test: absz. fekete test: minden ráeső sugárzást elnyel és csak fokozatosan sugározza ki

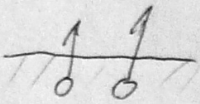


1900 – Max Planck: az energia diszkrét, tehát nem folytonosan kell integrálni, hanem összegezni kell

$E_\nu = h\nu$ – frekvencia $h = 6{,}626 \cdot 10^{-34}$ Js

h → planck-áll.

Foto- effektus:



fém

$h\nu < \phi$ nincs áram.

$h\nu > \Phi \Rightarrow h\nu = \phi + \frac{1}{2} m_e v^2$

Fajhő: Dulong-Petite

Ekvipartíciós tétel:

átlag en.

szabadsági fok: $f = \bar{E} = f \cdot \frac{1}{2} \cdot k_B T$

ideális gáz: $E = \frac{1}{2} m(v_x^2 + v_y^2 + v_z^2) \Rightarrow \boxed{f=3}$

$E = \frac{3}{2} N k_B T$ N-részecskeszám

szilárd test:

$$E = A(v_x^2 + v_y^2 + v_z^2) + \frac{1}{2} D(x^2 + y^2 + z^2)$$

$$\boxed{f=6}$$

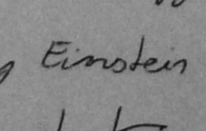
$$E = 6 \cdot N \cdot \frac{1}{2} k_B T = 3N \cdot k_B T$$

$$C_V = \frac{dE}{dT} = 3 N k_B$$

hőkapacitás megadja, hogy 1°C hőm. növelése mennyivel nő az energiája

$$\Delta E = h\nu_0$$

Debye-féle fajhő – nem egy univerzális frekvencia van, mint ahogy Einstein hitte, hanem annak van eloszlása



ν_0

FIZIKA 3

2EA

fotoeffektus, Einstein-féle fajhő

$e^{-\frac{E_i}{k_B T}}$ – Boltzmann-faktor

Entrópia statisztikus fizikai értelmezése

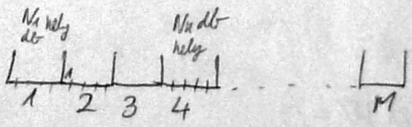
szoba, nincs gravitáció, súlytalanság

M db dobozra osztjuk a teret (sok doboz ($M \to \infty$))

N db molekula összesen (N nagy $\to \infty$)

kezdjük el feltölteni a dobozt

Felépítés:



$N(N-1)(N-2) \ldots 1 = N!$

⇓

előtt ennyiféleképpen tudom elhelyezni

ennyiféleképp lehet egy elrendezést megvalósítani

$$\boxed{\frac{N!}{N_1! \cdot N_2! \ldots N_M!}} = W$$

termodinamikai valószínűség (W)

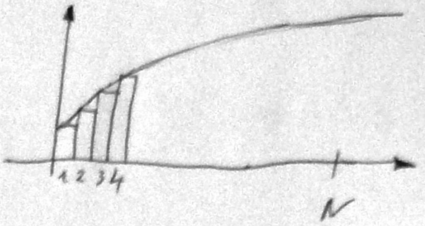
Feltétel:

$$\sum_{i=1}^{M} N_i = N$$

Stirling-formula

$$\ln N! \cong N \ln N - N$$

$$\ln(N!) = \ln 1 + \ln 2 + \dots + \ln N$$



$$\int \ln x = \Big[x(\ln x - 1)\Big]_0^N = N \ln N - N$$

$$\ln W \cong N \ln N - N - \sum_{i=1}^{M} (N_i \ln N_i - N_i) \quad *$$

megváltozás:

$$d \ln W = \frac{\partial \ln W}{\partial N_1} dN_1 + \frac{\partial \ln W}{\partial N_2} + \dots \qquad (1)$$

szélsőérték:

$$dW = 0$$

$$-dN_1 - dN_2 \dots = 0 \qquad \Big| \cdot \lambda \qquad (2)$$

$$(1) + \lambda(2) = 0$$

$$\underbrace{\left(\frac{\partial \ln W}{\partial N_1} - \lambda\right)}_{0} dN_1 + \dots = 0$$

$$\frac{\partial \ln N_i}{\partial N_i} = -\ln N_i - N_i \frac{1}{N_i} + 1 = -\ln N_i$$

$$-\ln N_i - \lambda = 0$$

$$\boxed{N_i = e^{-\lambda}}$$

Boltzmann-faktor

$N_i \quad E_i$ - energia

most „energiadobozban" gondolkodunk

$$\left[\begin{array}{l} N - \sum_{i=1}^{M} N_i = 0 \\ E - \sum N_i E_i = 0 \end{array}\right] \text{ - feltételek}$$

$$f = N \ln N - N - \sum_{i=1}^{M} (N_i \ln N_i - N_i) + \kappa N_i + \beta E - \sum_{i=1}^{M} (\kappa + \beta E_i) N_i$$

$$\frac{\partial f}{\partial N_i} = 0$$

$$\boxed{-\ln N_i = \kappa + \beta E_i} \qquad \boxed{\beta = \frac{1}{k_B T}}$$

$$N_i = e^{-\kappa} \cdot \underbrace{e^{-\beta E_i}}_{\text{Boltzmann-faktor}}$$

$$\sum N_i = N = e^{-\alpha} \sum e^{-\beta E_i} \quad \text{állapot összeg}$$

Boltzmann-faktor:
különböző energiájú dobozban mi a legvalószínűbb eloszlás

kis E-jű dobozokban sok atom

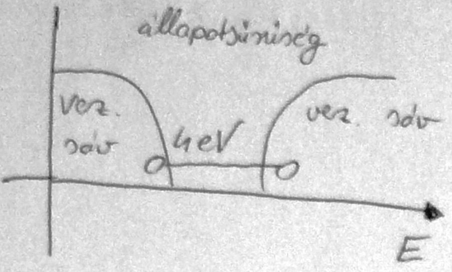
nagy E-jű dobozokban kevés atom

Állapot összeg: $Z = \sum e^{-\frac{E_i}{k_B T}}$

E_i g_i-szeresen degenerált

$$N_i = \frac{N}{Z} g_i e^{-\frac{E_i}{k_B T}}$$

félvezető:



$W_1 \quad W_2$ - valószínűségek

$$W_{1+2} = W_1 \cdot W_2$$

Entrópia: (S)

$$S_1 + S_2 = S_{1+2}$$

$$S(W)$$

$$S_1 = \ln W_1 \cdot k_B$$

$$S_2 = \ln W_2 \cdot k_B$$

Max Planck:

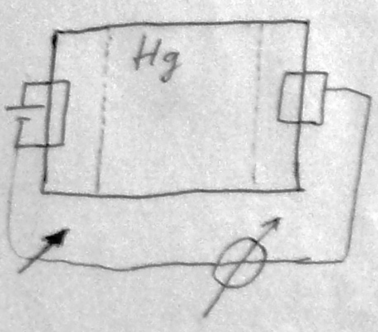
$$\bar{E} = \frac{\sum_0^\infty n(h\nu) e^{-\frac{n(h\nu)}{k_B T}}}{\sum_0^\infty e^{-\frac{n(h\nu)}{k_B T}}} = \frac{h\nu}{e^{\beta(h\nu)} - 1}$$

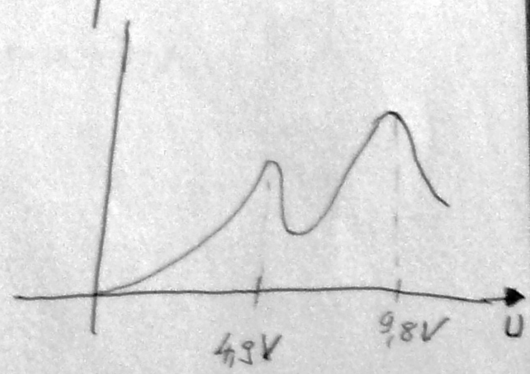
$$E_n = n(h\nu) \qquad n = 1, 2, 3 \dots \infty$$

Frank-Hertz kísérlet

izzó katód

vákuumkamra





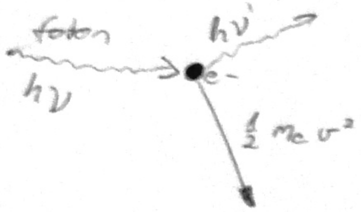
elektron katódból anódba

feszültséget változtatjuk

azt sugallja, hogy diszkrét dolgok vannak

Compton-effektus:

fotont ütköztetjük elektronnal



rel. elmélet:

$$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \qquad p = \frac{m_0 v}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \Rightarrow v$$

$$\boxed{E^2 = p^2c^2 + m_0^2 c^4}$$

$m_0 = ? = 0$ - foton esetén

$\Downarrow$

$E = pc$ – foton esetén

$h\nu = pc \rightarrow \boxed{p = \frac{h\nu}{c}}$ 1 foton impulzusa