

Formulario Fisica della Materia

Grufoony

https://github.com/Grufoony/Fisica_UNIBO

5 dicembre 2024

1 Insieme microcanonico

- $S = k_B \ln \Omega$ entropia di Boltzmann

2 Insieme canonico

- $\beta = \frac{1}{k_B T}$
- $Z_1 = \sum_s e^{-\beta \epsilon_s}$ funzione di partizione (particella singola)
- $Z = (Z_1)^N$ funzione di partizione (N particelle distinguibili)
- $Z = \frac{(Z_1)^N}{N!}$ funzione di partizione (N particelle indistinguibili nel limite diluito)
- $F = -k_B T \ln Z$ energia libera di Helmholtz
- $\langle E \rangle = \frac{\partial \ln Z}{\partial \beta}$ energia media

3 Insieme gran canonico

- $\gamma = -\beta \mu$
- $\mu = \frac{\partial F}{\partial N}|_{T,V} = -T \frac{\partial S}{\partial N}|_{U,V}$ potenziale chimico
- $\Xi = \sum_N e^{\beta \mu N} Z(N)$ funzione di partizione gran canonica
- $\Phi = k_B T \ln \Xi$ gran potenziale

4 Gas ideale

- $F = -Nk_B T \ln(n_Q) + Nk_B T \ln(N) - Nk_B T \ln(V) - Nk_B T$
- $P = \frac{Nk_B T}{V}$
- $S = Nk_B \left[\ln\left(\frac{n_Q}{n}\right) + \frac{5}{2} \right]$ equazione di Sackur-Tetrode
- $U = \frac{3}{2} Nk_B T$
- $C_V = \frac{3}{2} Nk_B$
- $\mu = k_B T \ln\left(\frac{n}{n_Q}\right)$
- $n_Q = \left(\frac{mk_B T}{2\pi \hbar^2}\right)^{\frac{3}{2}}$ concentrazione quantistica

- $\Phi = \frac{n_0}{4} \sqrt{\frac{8k_B T}{\pi m}}$ legge di Graham (effusione)
- $l = \frac{1}{n\pi d^2}$ libero cammino medio
- $\tau = \frac{l}{v_{rms}}$ tempo medio di collisione
- $\theta_t = \frac{\hbar^2 \pi^2}{2mk_B L^2}$ temperatura caratteristica traslazioni

5 Teoria di Boltzmann

- $f(\vec{v}) = n_0 \left(\frac{m}{2\pi k_B T} \right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{m}{2k_B T} v^2}$ distribuzione velocità di Maxwell-Boltzmann
- $\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8k_B T}{\pi m}}$ velocità media
- $v_{rms} = \sqrt{\frac{3k_B T}{m}}$ velocità quadratica media
- $v_p = \sqrt{\frac{2k_B T}{m}}$ velocità più probabile

6 Cose quantistiche

- $g(E) = \frac{g_s}{4\pi} \left(\frac{2m}{\hbar^2} \right)^{\frac{3}{2}} V \sqrt{E}$ occupazione media per lv energetico (3D)
- $\epsilon_j = \hbar\omega \left(j + \frac{1}{2} \right)$ energia oscillatore armonico quantistico
- $\langle n_s \rangle = e^{\beta(\mu - \epsilon_s)}$ distribuzione di Maxwell-Boltzmann
- $\Xi_f = \prod_s [1 + e^{\beta(\mu - \epsilon_s)}]$
- $\langle n_s \rangle_f = \frac{1}{e^{\beta(\epsilon_s - \mu)} + 1}$ distribuzione di Fermi-Dirac
- $\Xi_b = \prod_s \left[\frac{1}{1 - e^{\beta(\mu - \epsilon_s)}} \right]$
- $\langle n_s \rangle_b = \frac{1}{e^{\beta(\epsilon_s - \mu)} - 1}$ distribuzione di Bose-Einstein
- $V u(\omega) d\omega = \frac{V \hbar}{\pi^2 c^3} \frac{\omega^3}{e^{\beta \hbar \omega} - 1} d\omega$ equazione di Planck per il corpo nero
- $V u_{RJ}(\omega) d\omega = k_B T g(\omega) d\omega$ approssimazione di Rayleigh-Jeans per le basse frequenze
- $\theta_t = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2mk_B L^2}$ temperatura caratteristica di traslazione (1D)
- $Z_r \approx \frac{\theta_r}{T}$ funzione di partizione per d.o.f. rotazionali

7 Gas di Fermi

- $\epsilon_F = \frac{\hbar^2}{2m} \left(\frac{6\pi^2 n}{g_s} \right)^{\frac{2}{3}}$ energia di Fermi
- $\mu(T) \approx \epsilon_F \left(1 - \frac{\pi^2}{12} \frac{T^2}{T_F^2} \right)$
- $U \approx \frac{3}{5} N \epsilon_F + \frac{\pi^2}{4} \frac{T^2}{T_F^2} N \epsilon_F$
- $C_V = \frac{\pi^2}{2} N k_B \frac{T}{T_F}$

- $P = \frac{2}{3} \frac{U}{V}$
- $B = \frac{2}{5} n \epsilon_F$ compressibilità
- $\Phi = PV$

8 Gas di Bose

- $U = \frac{g_s}{4\pi^2} \left(\frac{2m}{\hbar^2}\right)^{\frac{3}{2}} \Gamma\left(\frac{5}{2}\right) \zeta\left(\frac{5}{2}\right) = 0.77 N k_B T \left(\frac{T}{T_0}\right)^{\frac{3}{2}} \quad (T < T_0)$
- $C_V = 1.93 N k_B \left(\frac{T}{T_0}\right)^{\frac{3}{2}} \quad (T < T_0)$
- $U = \frac{3}{2} N k_B T \left[1 - \frac{\zeta(\frac{3}{2})}{2^{\frac{3}{2}}} \left(\frac{T_0}{T}\right)^{\frac{3}{2}} + \dots\right] \quad (T > T_0)$
- $C_V = \frac{3}{2} N k_B \left[1 + 0.231 \left(\frac{T_0}{T}\right)^{\frac{3}{2}} + \dots\right] \quad (T > T_0)$

9 Corpo nero

- $u = \frac{\pi^2}{15} \frac{(k_B T)^4}{(\hbar c)^3}$
- $P = \frac{u}{3}$
- $\mu = 0$
- $G = 0$
- $s = \frac{4}{3} \frac{u}{T}$
- $H = \frac{4}{3} U$
- $F = -\frac{U}{3}$
- $n = \left(\frac{2k_B^3 \zeta(3)}{\pi^2 c^3 \hbar^3}\right) T^3$

10 Cose termodinamiche

- $U = TS - PV + \mu N$ energia interna
- $dU = TdS - PdV + \mu dN$
- $d\mu = -\frac{S}{N}dT + \frac{V}{N}dP$ relazione di Gibbs-Duhem
- $F = U - TS$ energia libera di Helmholtz
- $dF = -SdT - PdV + \mu dN$
- $H = U + PV$ entalpia
- $dH = TdS + VdP + \mu dN$
- $G = F + PV = H - TS = U - TS + PV$ energia libera di Gibbs
- $dG = -SdT + VdP + \mu dN$
- $dU = TdS - PdV$ equazione di Maxwell

- $\Phi = \mu N - F$
- $S = -\frac{\partial F}{\partial T}|_{N,V}$ entropia
- $C_V = \frac{\partial U}{\partial T}|_V$ capacità termica
- $P = -\frac{\partial U}{\partial V}|_{N,S} = -\frac{\partial F}{\partial V}|_{N,T} = T \frac{\partial S}{\partial V}|_{N,U}$ pressione
- $S = \frac{\partial \Phi}{\partial T}|_{\mu,V}$
- $P = \frac{\partial \Phi}{\partial V}|_{\mu,T}$
- $\langle N \rangle = \frac{\partial \Phi}{\partial \mu}|_{V,T}$

11 Cose matematiche

- $N! \simeq \sqrt{2\pi N} N^N e^{-N}$ approssimazione di Stirling ($N \gg 1$)
- $\int_{-\infty}^{\infty} e^{-\alpha x^2} = \sqrt{\frac{\pi}{\alpha}}$ integrale gaussiano
- $\frac{d}{d\alpha} \int f(x, \alpha) dx = \int \frac{\delta f}{\delta \alpha} dx$ trucco di Feynman
- $\sum_{n=0}^{\infty} n e^{-an} = \frac{e^a}{(e^a - 1)^2}$
- $\Gamma(n+1) = \int_0^{\infty} t^n e^{-t} dt = n!$ funzione gamma
- $I \approx \int_0^{\mu} k(\epsilon) d\epsilon + \frac{\pi^2}{6} (k_B T)^2 k'(\mu) + o(T^4)$ espansione di Sommerfeld
- $\zeta(s) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^s}$ funzione zeta di Riemann
- $\int_0^{\infty} \frac{x^n}{e^x - 1} dx = \Gamma(n+1) \zeta(n+1)$
- $\langle y(\epsilon) \rangle = \int_0^{\infty} g(\epsilon) y(\epsilon) f(\epsilon) d\epsilon$
- $\sum_{n=0}^k a^{bn} = \frac{a^{b(k+1)} - 1}{a^b - 1}$

12 Modello di Bohr

- $v = (\alpha c) \frac{Z}{n}$
- $r_n = \left(\frac{\hbar}{m\alpha c} \right) \frac{n^2}{Z}$
- $E_n = -\frac{1}{2}mc^2 \frac{(Z\alpha)^2}{n^2}$

13 Teoria di Schroedinger

- $H = -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 - \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{r} = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{l(l+1)}{2mr^2} - \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{r}$
- $\rho_{n,l} = r^2 |R_{n,l}(r)|^2$ densità di probabilità radiale

14 Momento angolare e Spin-Orbita

- $\mu_j = -\mu_B g_j \frac{J}{\hbar}$
- $\mu_B = \frac{e\hbar}{2m}$ magnetone di Bohr
- $\Delta z = \frac{1}{2} \frac{\mu_B g_j \Delta m_j}{E_k} \frac{\partial B}{\partial z} l \left(\frac{l}{2} + d \right)$ spostamento da Stern-Gerlach
- $E_{SO} = \frac{1}{2m^2 c^2} \frac{1}{r} \frac{dV}{dr} S \cdot L$

15 Struttura fine

- $H_D = \frac{p^2}{2m} + V(r) - \frac{p^4}{8m^3 c^2} + \frac{1}{2m^2 c^2} \frac{1}{r} \frac{dV}{dr} S \cdot L + \frac{\pi \hbar^2}{2m^2 c^2} \left(\frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0} \right) \delta(r)$ hamiltoniana di Dirac per l'idrogeno
- $E_{n,j} = E_n \left[1 + \frac{(Z\alpha)^2}{n^2} \left(\frac{n}{j+\frac{1}{2}} - \frac{3}{4} \right) \right]$ correzione totale