

نصل اول : مکانیک آماری میریفته

یک سیستم فیزیکی در یک درجه آزادی N در دما T قرار گرفته باشد (در دما T و N یک مقدار است)

در سیستم فیزیکی A_1 و A_2 با انرژی Y_1 و Y_2 در یک سیستم A در دما T قرار گرفته باشد (در دما T و N یک مقدار است)

$$A_1, Y_1 + A_2, Y_2 \rightarrow A, Y$$

برای مثال T, P, ρ, μ, \dots intensive for example T, P, ρ, μ, \dots
 $Y = Y_1 = Y_2$
برای مثال N, V, E, S, \dots extensive for example N, V, E, S, \dots
 $Y = Y_1 + Y_2$

از آنجا که انرژی یک سیستم در دما T و N یک مقدار است

$$E = \sum n_i \epsilon_i \quad \text{where } N = \sum n_i$$

از آنجا که انرژی یک سیستم در دما T و N یک مقدار است

از آنجا که انرژی یک سیستم در دما T و N یک مقدار است

$H_i = \dots \rightarrow H = \sum H_i$

$\psi = \dots \rightarrow \nabla \psi = \dots$

$(N_1, N_2, E_1) \cup A_1 \dots$

$\cup A_2 \dots$

$\cup \Omega_1 \dots$

$\cup \Omega_2 \dots$

[Faded handwritten text]

$E^{(0)} = E_1 + E_2$

$A_1 \rightarrow \Omega_1(E_1) = A_1 \dots$
 $A_2 \rightarrow \Omega_2(E_2) = A_2 \dots$
 $\rightarrow \overline{A} \rightarrow \Omega_1(E_1) \Omega_2(E_2) = A$

$\Omega^{(0)}(E^{(0)}) = \Omega_1(E_1) \Omega_2(E_2) = A$

[Faded handwritten text]

$E_1 + E_2 = E_1' + E_2' = E_1'' + E_2'' = E^{(0)}$

[Faded handwritten text]

$\Omega^* = \Omega_1(E_1) \Omega_2(E_2) + \Omega_1(E_1') \Omega_2(E_2) + \Omega_1(E_1) \Omega_2(E_2')$

[Faded handwritten text]

$P(E_1, E_2) = \dots = \Omega^* = C \Omega_1(E_1) \Omega_2(E_2)$

در این مسئله می‌خواهیم ثابت کنیم که $\beta_1 = \beta_2$ است.

$$\text{چون } \frac{\partial p(E_1, E_2)}{\partial E_1} = 0$$

$$\Rightarrow \frac{\partial [\Omega_1(E_1) \Omega_2(E_2)]}{\partial E_1} = 0 \Rightarrow \frac{\partial [\Omega_1(E_1) \Omega_2(E_1)]}{\partial E_1} = 0$$

$$\Rightarrow \Omega_2 \frac{\partial \Omega_1}{\partial E_1} + \Omega_1 \frac{\partial \Omega_2(E_1)}{\partial E_1} = 0 \quad \text{یا} \quad \Omega_2 \frac{\partial \Omega_1(E)}{\partial E_1} + \Omega_1 \frac{\partial \Omega_2(E)}{\partial E_1} = 0 \quad (1)$$

$$\text{همچنین } \frac{\partial \Omega_2}{\partial E_2} = \frac{\partial \Omega_2(E)}{\partial E_2} \frac{\partial E_2}{\partial E_1}, \quad E_2 = E - E_1 \Rightarrow \frac{\partial \Omega_2}{\partial E_1} = - \frac{\partial \Omega_2}{\partial E_2} \quad (2)$$

$$\text{پس } \Omega_2 \frac{\partial \Omega_1}{\partial E_1} - \Omega_1 \frac{\partial \Omega_2}{\partial E_2} = 0 \Rightarrow \Omega_2 \frac{\partial \Omega_1}{\partial E_1} - \Omega_1 \frac{\partial \Omega_2}{\partial E_2} = 0 \Rightarrow \frac{\partial \Omega_1}{\partial E_1} = \frac{\partial \Omega_2}{\partial E_2}$$

$$\Rightarrow \frac{\partial (\ln \Omega_1)}{\partial E_1} = \frac{\partial (\ln \Omega_2)}{\partial E_2} = \beta = \frac{\partial \ln \Omega}{\partial E}$$

$$\Rightarrow \boxed{\beta_1 = \beta_2} \quad \text{ثابت می‌شود}$$

این نتیجه نشان می‌دهد که در تعادل، دمای دو سیستم برابر است. اگر A_1 و A_2 دو سیستم باشند که با هم در تماس هستند، آنگاه $\beta_1 = \beta_2$ است. این بدان معناست که $\frac{1}{k_B T_1} = \frac{1}{k_B T_2}$ یا $T_1 = T_2$.

از این نتیجه می‌توانیم استنباط کنیم که در تعادل، دمای دو سیستم برابر است. این یک نتیجه مهم در ترمودینامیک است.

پس در تعادل، دمای دو سیستم برابر است. این نتیجه را می‌توانیم به صورت $T_1 = T_2$ بیان کنیم.

در این مسئله، ما A_2 و A_1 را در نظر می‌گیریم.

$$\Delta S^{tot} = \Delta S_1 + \Delta S_2 = \left(\frac{\partial S_1}{\partial E_1}\right) \Delta E_1 + \left(\frac{\partial S_2}{\partial E_2}\right) \Delta E_2 = \Delta E_1 + \Delta E_2 = \Delta E$$

$$\Rightarrow \left(\frac{\partial S_1}{\partial E_1}\right) \Delta E + \left(\frac{\partial S_2}{\partial E_2}\right) \Delta E = 0 \Rightarrow \Delta E \left(\frac{\partial S_2}{\partial E_2} - \frac{\partial S_1}{\partial E_1}\right) = 0$$

پس $\frac{\partial S_1}{\partial E_1} = \frac{\partial S_2}{\partial E_2}$ است.

بفرض $T_1 > T_2 \Rightarrow \frac{1}{T} = \frac{\partial S}{\partial E}$

$$\rightarrow \frac{\partial S_2}{\partial E_2} > \frac{\partial S_1}{\partial E_1} \Rightarrow T_1 > T_2 \Rightarrow \frac{1}{T} = \frac{\partial S}{\partial E}$$

$$\beta = \frac{\partial \ln \Omega}{\partial E}, \quad \frac{\partial S}{\partial E} = \frac{1}{T}$$

$$\beta = \frac{\Delta \ln \Omega}{\Delta E}, \quad \frac{\Delta S}{\Delta E} = \frac{1}{T} \Rightarrow T = \frac{\Delta E}{\Delta S}$$

$$\rightarrow \beta T = \frac{\partial \ln \Omega}{\partial E} \frac{\Delta E}{\Delta S} = \frac{\partial \ln \Omega}{\Delta S} \Rightarrow \frac{1}{\beta T} = \frac{\Delta S}{\Delta \ln \Omega} = \text{const.} = k$$

S = k \ln \Omega

تعتبر Ω إجمالي عدد الحالات الممكنة للنظام عند S

في حالة V_1, V_2 فإن $V = V_1 + V_2$ حيث V ثابت

بفرض $V_1, V_2 = V$ فإن $V_1 = V - V_2$ حيث V ثابت

$$V^{(1)} = V_1 + V_2 \Rightarrow V_2 = V^{(1)} - V_1$$

بفرض $N_1, N_2 = N$ فإن $N_1 = N - N_2$ حيث N ثابت

بفرض $E_1, E_2 = E$ فإن $E_1 = E - E_2$ حيث E ثابت

$$\left. \begin{aligned} & \left(\frac{\partial \ln \Omega_1}{\partial E_1} \right)_{N_1, V_1, E_2 = E} = \left(\frac{\partial \ln \Omega_2}{\partial E_2} \right)_{N_2, V_2, E_1 = E} \\ & \left(\frac{\partial \ln \Omega_1}{\partial V_1} \right)_{N_1, E_1, V_2 = V} = \left(\frac{\partial \ln \Omega_2}{\partial V_2} \right)_{N_2, E_2, V_1 = V} \end{aligned} \right\}$$

$$\beta_1 = \beta_2, \quad \eta_1 = \eta_2$$

$$\eta = \left(\frac{\partial \ln \Omega(N, V, E)}{\partial V} \right)_{N, E}$$

دالة إنتروبية ماكسويل في نظام A_1, A_2 عند توازن مع المحيط عند T, P, μ حيث V, N ثابتين

$$F_1 = F_2 \quad \text{where:} \quad F = \left(\frac{\partial \ln \Omega}{\partial N} \right)_{V, E}$$

دالة إنتروبية ماكسويل في نظام A_1, A_2 عند توازن مع المحيط عند T, P, μ حيث V, N ثابتين

$$d \ln \Omega(N, V, E) = \left(\frac{\partial \ln \Omega}{\partial E} \right)_{V, N} dE + \left(\frac{\partial \ln \Omega}{\partial V} \right)_{N, E} dV + \left(\frac{\partial \ln \Omega}{\partial N} \right)_{V, E} dN$$

$$\Rightarrow d \ln \Omega = \beta dE + \eta dV + \xi dN \quad (1)$$

$$S = k_B \ln \Omega$$

$$dS = k_B d \ln \Omega \Rightarrow d \ln \Omega = \frac{1}{k_B} dS \quad (2)$$

$$(1) \cdot (2) \Rightarrow \frac{1}{k_B} dS = \beta dE + \eta dV + \xi dN = \frac{1}{kT} dE + \eta dV + \xi dN$$

$$\Rightarrow T dS = dE + \eta kT dV + \xi kT dN$$

من ماكسويل $dE = T dS - P dV + \mu dN$

$$\Rightarrow \frac{1}{T} dE + \frac{P}{T} dV - \frac{\mu}{T} dN = \eta kT dV + \xi kT dN$$

$$P = \eta kT \Rightarrow \eta = \frac{P}{kT} \quad \xi = \frac{\mu}{kT}$$

دالة إنتروبية ماكسويل في نظام A_1, A_2 عند توازن مع المحيط عند T, P, μ حيث V, N ثابتين

$$T_1 = T_2, \quad P_1 = P_2$$

دالة إنتروبية ماكسويل في نظام A_1, A_2 عند توازن مع المحيط عند T, P, μ حيث V, N ثابتين

$$T_1 = T_2, \quad \mu_1 = \mu_2$$

دالة إنتروبية ماكسويل في نظام A_1, A_2 عند توازن مع المحيط عند T, P, μ حيث V, N ثابتين

$$T_1 = T_2, \quad P_1 = P_2, \quad \mu_1 = \mu_2$$

91

$S(N, V, E) = k \ln \Omega(N, V, E)$ فرض: μ و T و P ثابتند
 این عبارت را به صورت (با استفاده از تعریف) انتگرال استاندارد می‌نویسیم

$$\frac{1}{T} = \left(\frac{\partial S}{\partial E}\right), \quad \frac{P}{T} = \left(\frac{\partial S}{\partial V}\right), \quad \frac{\mu}{T} = \left(\frac{\partial S}{\partial N}\right)$$

$$\rightarrow P = \frac{\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)}{\left(\frac{\partial S}{\partial E}\right)} = \left(\frac{\partial E}{\partial P}\right)_{N, S} \quad \mu = \frac{\left(\frac{\partial S}{\partial N}\right)}{\left(\frac{\partial S}{\partial E}\right)} = \left(\frac{\partial E}{\partial N}\right)_{S, V} \quad T = \left(\frac{\partial E}{\partial S}\right)_N$$

$$E = E(S, V, N) \quad \text{عبارت}$$

انتالپی آزاد = $A = E - TS$

انتالپی آزاد گیبس = $G = A + PV = E - TS + PV$

انتالپی = $H = E + PV = G + TS$

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

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

$$\left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_S = \left(\frac{\partial V}{\partial S}\right)_P$$

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

$$\rightarrow C_V = T \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_{N, V} = \left(\frac{\partial E}{\partial T}\right)_{N, V}$$

$$C_P = T \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_{N, P} = \left(\frac{\partial (E + PV)}{\partial T}\right)_{N, P} = \left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_{N, P}$$

فرض کنیم N و E و V را ثابت نگه داریم و P را تغییر دهیم. این تغییرات را می‌توانیم به صورت N, V, E ثابت نگه داریم و P را تغییر دهیم. این تغییرات را می‌توانیم به صورت N, V, E ثابت نگه داریم و P را تغییر دهیم.

$$\Omega(N, V, E) \propto V^N$$

$$\mu = \frac{P}{T} = \left(\frac{\partial S}{\partial N}\right)_{E, V} = k \left(\frac{\partial \ln \Omega}{\partial N}\right)_{E, V} = k \frac{\partial (\ln V^N)}{\partial N} = nk \frac{\partial \ln V}{\partial N} = \frac{nk}{V}$$

$$\rightarrow \frac{P}{T} = \frac{nk}{V}$$

این عبارت را می‌توانیم به صورت $P = nkT$ بنویسیم.

v

$N = nN_A$; $N_0 = \dots$

$\frac{P}{T} = \frac{nN_A k}{V} \Rightarrow \boxed{PV = nN_A kT = nRT}$; $P = kN_A = \dots$

...
 ...
 ...

$\sum_{i=1}^{3N} E_i = E$

...
 ...

Energy: $E(n_x, n_y, n_z) = \frac{h^2}{8mL^2} (n_x^2 + n_y^2 + n_z^2)$ where: $n_x, n_y, n_z = 1, 2, 3, \dots$

$n_x^2 + n_y^2 + n_z^2 = \frac{8mL^2}{h^2} E = \frac{8mV}{h^2} E = E^*$

$\sum_{i=1}^{3N} n_i^2 = \frac{8mV}{h^2} \sum_{i=1}^{3N} E_i = \frac{8mV}{h^2} E = E^*$; $\sum_{i=1}^{3N} n_i^2 = E^*$

...
 ...

...
 ...
 ...

$S(N, V, E) = S(N, V^{2/3} E)$

... (Note: \dots) ...

$V^{2/3} E = \text{const} \Rightarrow E = \frac{\text{const.}}{V^{2/3}} = C V^{-2/3} \Rightarrow \frac{\partial E}{\partial V} = -\frac{2}{3} C V^{-5/3}$

$\frac{\partial E}{\partial V} = -\frac{2}{3} (C V^{-5/3}) = -\frac{2}{3} \frac{E}{V}$

$P = -\left(\frac{\partial E}{\partial V}\right) = \frac{2}{3} \frac{E}{V}$

Δ

$$P = \frac{2}{3} \frac{E}{V}, \quad E = \frac{\text{const}}{V^{2/3}} \quad \left\{ \rightarrow \rho V^{5/3} = \text{const.} \right.$$

این معادله را می توانیم در فرمول های دیگر استفاده کنیم

این معادله را می توانیم در فرمول های دیگر استفاده کنیم

این معادله را می توانیم در فرمول های دیگر استفاده کنیم

$$\sum_{i=1}^{3N} \epsilon_i = E^*$$

$$\epsilon_i = \left(\frac{1}{2}\right) \left(\frac{1}{2}\right) \left(\frac{1}{2}\right) \left(\frac{1}{2}\right) V = \left(\frac{1}{2}\right)^{3N} V$$

این معادله را می توانیم در فرمول های دیگر استفاده کنیم

$$V_N(\epsilon) = \frac{\pi^{3N/2}}{(2\pi)^{3N}} R^{3N} \cdot R^3 \epsilon^3$$

$$\Sigma(E) = \int_0^E V_N(\epsilon) d\epsilon$$

$$\Sigma(E) = \left(\frac{1}{2}\right)^{3N} V_N(E)$$

$$E \frac{\Delta}{2} \leq H \leq E \frac{\Delta}{2}$$

این معادله را می توانیم در فرمول های دیگر استفاده کنیم

این معادله را می توانیم در فرمول های دیگر استفاده کنیم

$$E \frac{\Delta}{2} \leq H \leq E \frac{\Delta}{2}$$

$$\frac{\partial \Sigma}{\partial E} \times \frac{1}{h} = \Delta \frac{\partial \Sigma(E)}{\partial E} = T$$

$$\Sigma(E) = \sum_N (E^*) = A E^{3N/2} \rightarrow T = \Delta \frac{3N}{2} A E^{3N/2 - 1}$$

$$\rightarrow T = \Delta \frac{3N}{2E} A E = \Delta \frac{3N}{2E} \sum \rightarrow \ln T = \ln \sum + \ln \frac{3N}{2} + \ln \frac{\Delta}{E}$$

$$\boxed{\ln T = \ln \Sigma = \ln \Omega}$$

بجای آوردن $\ln \Omega$ در معادله $T = \Delta \frac{3N}{2E} \Omega$ داریم $\ln T = \ln \left(\Delta \frac{3N}{2E} \Omega \right) = \ln \Delta + \ln \left(\frac{3N}{2E} \right) + \ln \Omega$

$$S = k \ln \Omega = k \ln \Sigma = N k \ln \left[\frac{V}{h^3} \left(\frac{4\pi m E}{3N} \right)^{3/2} \right] + \frac{3}{2} N k$$

$$\rightarrow E = \frac{3N h^2}{4\pi m^{3/2}} \exp \left[\frac{2S}{3Nk} - 1 \right] \rightarrow \begin{cases} T = \frac{2E}{3k} \rightarrow E = \frac{3}{2} k T \\ P = \frac{2E}{3V} \rightarrow E = \frac{3}{2} P V \end{cases}$$

در $T = \frac{2E}{3k}$ و $P = \frac{2E}{3V}$ داریم $E = \frac{3}{2} k T$ و $E = \frac{3}{2} P V$

برای یافتن E^* از معادله $\frac{\partial \ln \Omega}{\partial E} = \frac{1}{E}$ استفاده می‌کنیم. $\ln \Omega = \ln \left(\frac{V}{h^3} \left(\frac{4\pi m E}{3N} \right)^{3/2} \right) + \frac{3}{2} N$

$$\sum_{i=1}^{3N} \frac{1}{h^2} = \frac{3N}{h^2} = \frac{3N}{h^2} E^* = E^* \rightarrow \sum_N (E^*) = \left(\frac{1}{2} \right)^{3N} \frac{\pi^{3N/2}}{(3N/2)!} E^{*3N/2}$$

$$\text{if } E^* \rightarrow E \rightarrow \sum (N_i V_i E) = \left(\frac{V}{h^3} \right)^N \frac{(2\pi m E)^{3N/2}}{(3N/2)!}$$

$$\text{C.V.} : \ln \Omega = \ln \Omega - \ln \Omega$$

$$\rightarrow \ln \sum (N_i V_i E) = N \ln \left[\frac{V}{h^3} \left(\frac{4\pi m E}{3N} \right)^{3/2} \right] + \frac{3N}{2}$$

در $E = \frac{3}{2} k T$ داریم $E = \frac{3}{2} k T = \frac{3}{2} k T$ و $P = \frac{2E}{3V} = \frac{2}{3} \frac{3}{2} k T \frac{1}{V} = \frac{k T}{V}$

$$T(N, V, E, \Delta) \approx \Delta \frac{\partial \sum (N_i V_i E)}{\partial E} = \frac{3N}{2} \frac{\Delta}{E} \sum (N_i V_i E)$$

19

$$\ln T(N, V, E; D) = N \ln \left[\frac{V}{h^3} \left(\frac{4\pi m E}{3N} \right)^{3/2} \right] + \frac{3N}{2} + \ln \left(\frac{5N}{2} \right) + \ln \left(\frac{D}{E} \right) \quad N \gg 1$$

$$\Rightarrow \ln T \approx \ln S = N \ln \left[\frac{V}{h^3} \left(\frac{4\pi m E}{3N} \right)^{3/2} \right] + \frac{3N}{2}$$

$$\Rightarrow S(N, V, E) = k \ln T = Nk \ln \left[\frac{V}{h^3} \left(\frac{4\pi m E}{3N} \right)^{3/2} \right] + \frac{3}{2} Nk$$

$$\Rightarrow E(S, V, N) = \frac{3Nh^2}{4\pi m V^{2/3}} \exp \left[\frac{2S}{3Nk} - 1 \right]$$

$$\frac{1}{T} = \left(\frac{\partial E}{\partial S} \right)_{N, V} = \frac{2}{3} \frac{E}{Nk} \Rightarrow E = \frac{3}{2} NkT = \frac{3}{2} nRT$$

$$C_V = \left(\frac{\partial E}{\partial T} \right)_{N, V} = \frac{3}{2} Nk = \frac{3}{2} nR$$

$$P = \left(\frac{\partial E}{\partial V} \right)_{N, S} = \frac{2}{3} \frac{E}{V} \Rightarrow P = \frac{NkT}{V}$$

$$C_P = \frac{\partial}{\partial T} (E + PV)_{N, P} = \frac{5}{2} nR \Rightarrow \gamma = \frac{C_P}{C_V} = \frac{5}{3}$$

$$S_f - S_i = Nk \ln \left[\frac{V_f}{h^3} \left(\frac{4\pi m E}{3N} \right)^{3/2} \right] + \frac{3}{2} Nk - Nk \ln \left[\frac{V_i}{h^3} \left(\frac{4\pi m E}{3N} \right)^{3/2} \right] - \frac{3}{2} Nk$$

$$S_f - S_i = Nk \left[\ln V_f - \ln V_i \right] = Nk \ln \frac{V_f}{V_i}$$

$$\left(\frac{\partial E}{\partial S} \right)_{N, V} dE = T ds - P dV + \mu dn = 0 \Rightarrow ds = \frac{P}{T} dV = \frac{Nk}{V} dT \quad \mu = \frac{P}{T} = \frac{Nk}{V}$$

$$\Rightarrow S_f - S_i = \int ds = Nk \ln \frac{V_f}{V_i}$$

ملاحظة: $(S = k \ln \Omega)$ ، حيث Ω عدد الحالات الممكنة

$$E(S, V, N) = \frac{3Nh^2}{4\pi m V^{2/3}} \exp \left[\frac{2S}{3Nk} - 1 \right], \quad T = \left(\frac{\partial E}{\partial S} \right)_{N, V} = \frac{2}{3} \frac{E}{Nk}$$

عند $E \gg T$ ، $E \propto V^{2/3}$ ، $P \propto V^{-2/3}$

$$p = - \left(\frac{\partial E}{\partial V} \right)_{N,S} = \frac{2E}{3V} \quad p = \frac{NkT}{V} \text{ or } pV = NkT$$

احتمال در $T = 3/2$

این نتایج را می توان به کمک اصل همبستگی درونی نیز بدست آورد

$$pV^\gamma = \text{cte} \text{ or } TV^{\gamma-1} = \text{cte} \text{ or } pV = (\gamma-1)E$$

برای تغییر آنتالپی تغییر در انرژی درجه آزادی و تغییر در آنتالپی درجه آزادی

$$\left(\frac{dE}{dV} \right)_{\text{adiab}} = -pV = -\frac{2E}{3V} dV$$

1.5. the entropy of mixing and the Gibbs paradox

این چیزی که به عنوان پارادوکس گیبس شناخته می شود

$$S(N_1, V, E) = k \ln \Omega = Nk \ln \left[\frac{V}{h^3} \left(\frac{4\pi m E}{3N} \right)^{3/2} \right] + \frac{3}{2} Nk$$

در اینجا S extensive است و N extensive است

برای تغییر آنتالپی درجه آزادی $(V \rightarrow 2V, E \rightarrow 2E, N \rightarrow 2N)$

برای تغییر آنتالپی درجه آزادی $(V \rightarrow 2V, E \rightarrow 2E, N \rightarrow 2N)$

این نتیجه را می توان به کمک اصل همبستگی درونی نیز بدست آورد

در نتیجه آنتالپی درجه آزادی S extensive است

گیبس پارادوکس در مورد تغییر آنتالپی درجه آزادی است

آنتالپی درجه آزادی قبل از ترکیب شدن دو گاز برابر است

$$S(N_1, V_1, E) = k \ln \Omega = Nk \ln \left[\frac{V}{h^3} \left(\frac{4\pi m E}{3N} \right)^{3/2} \right] + \frac{3}{2} Nk$$

$$S_i = N_i k \ln V_i + \frac{3}{2} N_i k \left\{ 1 + \ln \left(\frac{2\pi m_i k T}{h^2} \right) \right\} \quad i=1,2$$

تجزیه انرژی

$$S_T = \sum_{i=1}^N \left\{ N_i k \ln V + \frac{3}{2} N_i k \left\{ 1 + \ln \left(\frac{2\pi m_i k T}{h^2} \right) \right\} \right\} \quad V=V_1+V_2$$

تجزیه انرژی

$$(\Delta S) = S_T - \sum_{i=1}^2 S_i = k \left[N_1 \ln \frac{V_1+V_2}{V_1} + N_2 \ln \frac{V_1+V_2}{V_2} \right]$$

$$\Delta S \geq 0$$

در یک فرآیند اتزان، اگر دو سیستم با دماهای مختلف با هم در تماس قرار بگیرند، آنگاه دمای آنها به یکدیگر برسد و این فرآیند را اتزان می‌گویند.

$$(\Delta S)^* = k \left[N_1 \ln \frac{N_1+N_2}{N_1} + N_2 \ln \frac{N_1+N_2}{N_2} \right] \quad (1)$$

در یک فرآیند اتزان، اگر دو سیستم با دماهای مختلف با هم در تماس قرار بگیرند، آنگاه دمای آنها به یکدیگر برسد و این فرآیند را اتزان می‌گویند.

$$S_i = N_i k \ln V_i + \frac{3}{2} N_i k \left\{ 1 + \ln \left(\frac{2\pi m_i k T}{h^2} \right) \right\} \quad i=1,2$$

در یک فرآیند اتزان، اگر دو سیستم با دماهای مختلف با هم در تماس قرار بگیرند، آنگاه دمای آنها به یکدیگر برسد و این فرآیند را اتزان می‌گویند.

$$S_T = Nk \ln V + \frac{3}{2} Nk \left\{ 1 + \ln \left(\frac{2\pi m k T}{h^2} \right) \right\} \quad N = N_1 + N_2$$

در یک فرآیند اتزان، اگر دو سیستم با دماهای مختلف با هم در تماس قرار بگیرند، آنگاه دمای آنها به یکدیگر برسد و این فرآیند را اتزان می‌گویند.

$$S_T = \sum_{i=1}^2 \left\{ N_i k \ln V + \frac{3}{2} N_i k \left\{ 1 + \ln \left(\frac{2\pi m_i k T}{h^2} \right) \right\} \right\} \quad m_1 = m_2$$

در یک فرآیند اتزان، اگر دو سیستم با دماهای مختلف با هم در تماس قرار بگیرند، آنگاه دمای آنها به یکدیگر برسد و این فرآیند را اتزان می‌گویند.

$$S_T - \sum_{i=1}^2 S_i = \Delta S = k \left[N_1 \ln \frac{N_1+N_2}{N_1} + N_2 \ln \frac{N_1+N_2}{N_2} \right]$$

در یک فرآیند اتزان، اگر دو سیستم با دماهای مختلف با هم در تماس قرار بگیرند، آنگاه دمای آنها به یکدیگر برسد و این فرآیند را اتزان می‌گویند.

در یک فرآیند اتزان، اگر دو سیستم با دماهای مختلف با هم در تماس قرار بگیرند، آنگاه دمای آنها به یکدیگر برسد و این فرآیند را اتزان می‌گویند.

دالة إنتروبيا (S) هي كمية فيزيائية تقيس درجة الفوضى أو العشوائية في النظام. في حالة الغازات المثالية، يمكن حسابها باستخدام معادلات ماكسويل-بولتزمان.

$$(S)_{1=2}^* = 0$$

لأن الإنتروبيا هي دالة حالة، فإنها لا تتغير عند انتقال النظام من حالة إلى أخرى إذا لم يتغير حالته الفيزيائية.

$$(S)^\dagger = k \left[N_1 \ln \frac{N_1 + N_2}{N_1} + N_2 \ln \frac{N_1 + N_2}{N_2} \right]$$

$$(S)^\dagger = S_f = (S_1 + S_2) = k \left[\ln(N_1 + N_2) - \ln(N_1) - \ln(N_2) \right]$$

$$S(N, V, E) = Nk \ln \left[\frac{V}{N h^3} \left(\frac{4\pi m E}{3N} \right)^{3/2} \right] + \frac{5}{2} Nk \ln \left(\frac{2\pi m k T}{h^2} \right)$$

$$= Nk \ln \left(\frac{V}{N} \right) + \frac{3}{2} Nk \left\{ \frac{5}{3} + \ln \left(\frac{2\pi m k T}{h^2} \right) \right\}$$

الإنتروبيا هي دالة حالة، لذلك فإنها لا تتغير عند انتقال النظام من حالة إلى أخرى إذا لم يتغير حالته الفيزيائية.

$$(S)_{1=2} = k \left[(N_1 + N_2) \ln \left(\frac{V_1 + V_2}{N_1 + N_2} \right) - N_1 \ln \frac{V_1}{N_1} - N_2 \ln \left(\frac{V_2}{N_2} \right) \right]$$

الإنتروبيا هي دالة حالة، لذلك فإنها لا تتغير عند انتقال النظام من حالة إلى أخرى إذا لم يتغير حالته الفيزيائية.

$$(S)_{12}^* = 0$$

لأن الإنتروبيا هي دالة حالة، فإنها لا تتغير عند انتقال النظام من حالة إلى أخرى إذا لم يتغير حالته الفيزيائية.

$$S(N, V, E) = Nk \ln \left(\frac{V}{N} \right) + \frac{3}{2} Nk \left\{ \frac{5}{3} + \ln \left(\frac{2\pi m k T}{h^2} \right) \right\}$$

الإنتروبيا هي دالة حالة، لذلك فإنها لا تتغير عند انتقال النظام من حالة إلى أخرى إذا لم يتغير حالته الفيزيائية.

$$E(S, V, N) = \frac{3h^2 N^{5/3}}{4\pi m V^{2/3}} \exp \left(\frac{2S}{3Nk} - \frac{5}{3} \right)$$

14/

$$\mu = \frac{1}{N} (E + PV - TS) = \frac{G}{N} \rightarrow \frac{\sqrt{N} \epsilon_i}{N}$$

$$\mu(N, V, T) = kT \ln \left[\frac{N}{V} \left(\frac{h^2}{2\pi m k T} \right)^{3/2} \right]$$

$$A = E - TS = G = PV = NkT \left[\ln \left[\frac{N}{V} \left(\frac{h^2}{2\pi m k T} \right)^{3/2} \right] - 1 \right]$$

adiabatic: $\begin{cases} S = \text{const.} \\ N = \text{const.} \end{cases}$ and isothermal: $\begin{cases} E = \text{const.} \\ N = \text{const.} \end{cases}$

$$\int_0^{\infty} x^n e^{-ax} dx = \frac{n!}{a^{n+1}} \quad \int dt e^{i b \cdot \vec{r} - at} = \frac{\Lambda \pi \alpha}{(a^2 + b^2)^{3/2}}$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} x^{n+1} e^{-ax^2} dx = 2 \int_0^{\infty} x^{n+1} e^{-ax^2} dx = \frac{n! \sqrt{\pi} \dots x^{(n-1)} \sqrt{\pi}}{2 a^{n+1}}$$

$$\int_0^{\infty} x^{n+1} e^{-ax^2} dx = \frac{n!}{2 a^{n+1}}$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} e^{-ax^2} dx = \sqrt{\frac{\pi}{a}} \quad \int_0^{\infty} x e^{-ax^2} dx = \frac{1}{2a}$$

نقطة 1. في نظام B, A ...
 $\frac{K_A T_B - K_B T_A}{T_B - T_A} = \frac{dE_A}{dN_A}$...
 $\frac{K_A T_B - K_B T_A}{T_B - T_A} = \frac{dE_A}{dN_A}$...

نظریه آن میسر
 در فصل قبل گفتیم که در سیستم‌های کوانتوم با یکدیگر در حالت (N, V, E) مشخص می‌کنیم و تعداد حالت‌ها را
 (تعداد میکروحالات) می‌دانیم و می‌توانیم E, V, N را مشخص کنیم و $\Omega(N, V, E)$ را بدست آوریم

و گفتیم که اگر Ω مشخص باشد می‌توانیم برای سیستم‌های کوانتوم با یکدیگر در حالت (N, V, E) مشخص می‌کنیم
 و می‌توانیم Ω را بدست آوریم. State (حالت) را می‌توانیم به این روش مشخص کنیم

در سیستم‌های کوانتوم در حالت مشخصی از یک حالت می‌توانیم به حالت دیگر از آن سیستم در یک لحظه مشخص
 انجام دهیم و این عمل را انتقال می‌نامیم. اما در سیستم‌های کوانتوم در یک لحظه مشخص در یک حالت مشخص می‌توانیم

در حالت‌های مختلف قرار بگیریم. تعداد حالت‌های این سیستم‌ها را می‌توانیم با یکدیگر در یک لحظه مشخص
 آن تعداد را با استفاده از تعداد حالت‌های این سیستم‌ها بدست آوریم. این تعداد را می‌توانیم با یکدیگر در یک لحظه مشخص
 قرار دهیم و به این روش می‌توانیم سیستم‌های کوانتوم را مشخص کنیم

برای این کار، تعداد سیستم‌های کوانتوم را می‌توانیم با یکدیگر در یک لحظه مشخص کنیم (N, V, E)



این مجموعه‌ها می‌توانند به یکدیگر در یک لحظه مشخص از یکدیگر در یک لحظه مشخص
 به یکدیگر در یک لحظه مشخص انتقال می‌دهند. این انتقال می‌تواند به یکدیگر در یک لحظه مشخص
 انجام دهد و این عمل را انتقال می‌نامیم. اما در سیستم‌های کوانتوم در یک لحظه مشخص در یک حالت مشخص می‌توانیم
 قرار دهیم و به این روش می‌توانیم سیستم‌های کوانتوم را مشخص کنیم

تفاوتی با حالت کوانتوم

در کوانتوم مکانیک کوانتوم و میکروحالات‌های سیستم که مشخص می‌کنیم با یکدیگر در یک لحظه مشخص
 متفاوت است. این تفاوت را می‌توانیم با یکدیگر در یک لحظه مشخص مشخص کنیم و به این روش می‌توانیم سیستم‌های کوانتوم را مشخص کنیم