

יחסים תרמודינמיים

$$S = -\left(\frac{\partial F}{\partial T}\right)_V = -\left(\frac{\partial G}{\partial T}\right)_P \quad T = \left(\frac{\partial U}{\partial S}\right)_V = \left(\frac{\partial H}{\partial S}\right)_P$$

$$V = \left(\frac{\partial H}{\partial P}\right)_S = \left(\frac{\partial G}{\partial P}\right)_T \quad P = -\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_S = -\left(\frac{\partial F}{\partial V}\right)_T$$

$$H = \left(\frac{\partial U}{\partial M}\right)_{S,V} = \left(\frac{\partial F}{\partial M}\right)_{T,V}$$

יחסי מקסוואל

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

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

$$\left(\frac{\partial \mu_i}{\partial T}\right)_P = -\left(\frac{\partial S}{\partial N_i}\right)_{T,P} \quad \left(\frac{\partial \mu_i}{\partial T}\right)_V = -\left(\frac{\partial S}{\partial N_i}\right)_{T,V}$$

$$\left(\frac{\partial \mu_i}{\partial P}\right)_T = \left(\frac{\partial V}{\partial N_i}\right)_{T,P} \quad \left(\frac{\partial \mu_i}{\partial P}\right)_S = \left(\frac{\partial V}{\partial N_i}\right)_{S,P}$$

$$\left(\frac{\partial \mu_i}{\partial V}\right)_T = -\left(\frac{\partial P}{\partial N_i}\right)_{T,V} \quad \left(\frac{\partial \mu_i}{\partial V}\right)_S = -\left(\frac{\partial P}{\partial N_i}\right)_{S,V}$$

$$\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T = T\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V - P \quad \text{משוואת האנרגיה}$$

חוקי תרמודינמיקה

$U = Q + W$ החוק הראשון
 החוק השני לא ניתן להעביר חום בצורה ספונטנית מגוף קר יותר לגוף חם יותר
 החוק השלישי $S \rightarrow 0 \leftrightarrow T = \left(\frac{\partial U}{\partial S}\right)_V \rightarrow 0$

פוטנציאלים תרמודינמיים

תכונות (1 פונקציות אקסטנסיביות (2 פונקציות הומוגניות (במשתנים אקסטנסיביים)

האנטרופיה $dQ = TdS$

משוואות אוילר

אנרגיה פנימית $U = TS - PV + \mu_i N_i$
 האנטלפיה $H = U + PV = ST + \mu_i N_i$
 פוטנציאל הלמהולץ $F = U - ST = -PV + \mu_i N_i$
 פוטנציאל גיבס $G = F + PV = \mu_i N_i$

המשתנים הטבעיים
 אנרגיה פנימית $dU = TdS - PdV$
 האנטלפיה $dH = TdS + VdP$
 פוטנציאל הלמהולץ $dF = -SdT - PdV$
 פוטנציאל גיבס $dG = -SdT + VdP$

תנאי לשווי מישקל כאשר המשתנים הטבעיים קבועים
 הפוטנציאל התרמודינמי המתאים מקבל מינימום, כלומר $dX = 0$
 הפוטנציאל הכימי

$$\mu_i = \left(\frac{\partial U}{\partial N_i}\right)_{S,V} = \left(\frac{\partial F}{\partial N_i}\right)_{T,V} = \left(\frac{\partial G}{\partial N_i}\right)_{T,P} = -T\left(\frac{\partial S}{\partial N_i}\right)_{U,V}$$

פונקציות תגובה

מקדמי דחיסות $\kappa = -\frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_T \quad \alpha, \beta = \frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P$

קיבול חום $C_P = \left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_P \quad C_V = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V \quad C_X = T\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_X$

תכונות $C_P - C_V = T\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P$

$\left(\frac{\partial C_P}{\partial P}\right)_T = -T\left(\frac{\partial^2 V}{\partial T^2}\right)_P \quad \left(\frac{\partial C_V}{\partial V}\right)_T = T\left(\frac{\partial^2 P}{\partial T^2}\right)_V$

משוואות מצב/אנרגיה שימושיות

גז אידיאלי $U = nRT \quad PV = nRT$
 $s = c_v \ln T + R \ln v + s_0$
 גז ונדר-ולס $(P + a/v^2)(V - nb) = nRT$
 מוצק $V = V_0(1 + \alpha T - \kappa P)$
 נצילות מכונה $\eta = 1 - \frac{T_1}{T_2}$ קרנו $\eta = 1 - \left|\frac{Q_{in}}{Q_{out}}\right|$

עזרים מתמטיים

היחס ההפוך $\left(\frac{dx}{dy}\right)_z = \left(\frac{dy}{dx}\right)_z^{-1}$

היחס המחזורי $\left(\frac{\partial x}{\partial y}\right)_z \left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)_y \left(\frac{\partial y}{\partial z}\right)_x = -1$

כלל השרשרת $\left(\frac{\partial x}{\partial z}\right)_\phi = \left(\frac{\partial x}{\partial y}\right)_\phi \left(\frac{\partial y}{\partial z}\right)_\phi$

נגזרת פונקציה סתומה $\left(\frac{dx}{dy}\right)_\phi = -\frac{\left(\frac{\partial \phi}{\partial y}\right)_x}{\left(\frac{\partial \phi}{\partial x}\right)_y}$

פירוק לדיפרנציאל שלם $d\phi = \left(\frac{\partial \phi}{\partial x}\right)_y dx + \left(\frac{\partial \phi}{\partial y}\right)_x dy$

מעברי פזה - סדר ראשון ושני

משוואת קלאוזיוס-קלפרון $\frac{dP}{dT} = \frac{S - S'}{V - V'} = \frac{L}{T(V - V')}$

לגז אידיאלי $\ln P = -\frac{l}{RT} + const$

בנקודה הקריטית $\Delta V \rightarrow 0 \quad \Delta S = L \rightarrow 0$
 הגרף $P(V)$ מקבל נקודת פיתול

משוואות אהרנפסט $\frac{dP}{dT} = \frac{c_p - c'_p}{Tv(\alpha - \alpha')} = \frac{\alpha - \alpha'}{\kappa - \kappa'}$