

- 0.500 mol ideaalikaasua, jonka  $C_{V,m} = 3/2R$  on paineessa  $P = 3.25$  bar ja lämpötilassa  $T = 300$  K. **a)** Laske loppulämpötila, kun kaasu laajenee reversiibelisti ja adiabaattisesti loppupaineeseen  $P = 1.00$  bar. **b)** Laske loppulämpötila, kun kaasu laajenee adiabaattisesti ulkoista painetta  $P = 1.00$  bar vastaan loppupaineeseen  $P = 1.00$  bar. **c)** Selitä saamasi tulokset: miksi arvot eroavat tai eivät eroa toisistaan?
- Laske  $w$ ,  $q$ ,  $\Delta H$  ja  $\Delta U$  prosessille, jossa 1 mol vettä käy läpi muutoksen  $\text{H}_2\text{O}(l, 373 \text{ K}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(g, 460 \text{ K})$  1 bar paineessa. Nestemäisen veden tilavuus 373 K lämpötilassa on  $1.89 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ mol}^{-1}$ . Höyryn tilavuus 373 K lämpötilassa on  $3.03 \times 10^{-2} \text{ m}^3 \text{ mol}^{-1}$  ja 460 K lämpötilassa  $3.74 \times 10^{-2} \text{ m}^3 \text{ mol}^{-1}$ . Höyryn lämpökapasiteetti  $C_{P,m} = 33.58 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$  ja voidaan olettaa sen olevan vakio kyseisellä lämpötilavälillä. Veden höyrystymisentalpia  $\Delta H_{vap} = 40.656 \text{ kJ mol}^{-1}$ .
- Laske muodostumisentalpia rautasulfidille,  $\text{FeS}_2(s)$ , 300°C lämpötilassa alla olevan taulukon 25°C lämpötilassa annettujen tietojen perusteella. Oleta lämpökapasiteettien olevan lämpötilasta riippumattomia. Reaktion  $2\text{FeS}_2(s) + 11/2\text{O}_2(g) \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3(s) + 4 \text{SO}_2(g)$ , reaktioentalpia  $\Delta H_{reaction}^\circ = -1655 \text{ kJ mol}^{-1}$ .

Aine	Fe(s)	FeS <sub>2</sub> (s)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (s)	S(rombinen)	SO <sub>2</sub> (g)
$\Delta H_f^\circ$ (kJ mol <sup>-1</sup> )			-824.2		-296.81
$C_{P,m}/R$	3.02	7.48		2.72	

- 91.0 g CO ( $M = 30 \text{ g mol}^{-1}$ ) on aluksi 298 K lämpötilassa ja 1.00 bar paineessa. Laske  $\Delta S$ ,  $\Delta S_{total}$ , and  $\Delta S_{surroundings}$  kun hiilimonoksidin tilavuus kasvaa kolmikertaiseksi **(a)** adiabaattisesti ja reversiibelisti ja **(b)** isotermisesti ja reversiibelisti.  $C_{P,m} = 29.14 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$  oletetaan lämpötilasta riippumattomaksi ja hiilimonoksidin oletetaan käyttäytyvän ideaalisti. Onko prosessi spontaani?
- a)** Reaktion  $\text{CO}(g) + \text{H}_2\text{O}(l) \rightarrow \text{CO}_2(g) + \text{H}_2(g)$  tasapainovakio 298.15 K lämpötilassa on  $K_P = 3.32 \times 10^3$ . Missä lämpötilassa tasapainovakio saa arvon  $K_P = 5.00 \times 10^3$ ? Oleta, että  $\Delta H_{reaction}^\circ$  on lämpötilasta riippumaton.

Aine	CO(g)	H <sub>2</sub> O(l)	CO <sub>2</sub> (g)
$\Delta H_f^\circ$ (kJ mol <sup>-1</sup> )	-110.5	-285.8	-393.5

- b)** Amalgaami, jossa 1.152 g metallia on liuotettu 100.0 g elohopeaa, lämmitetään kiehuvaan. Tällöin elohopean osapaine on 754.1 Torr ja kokonaispaine on 768.8 Torr. Mikä on liuotetun metallin moolimassa?
- a)** Veden höyrystymislämpö  $\Delta H_{vap}$  on 40.656 kJ mol<sup>-1</sup> ja normaali kiehumispiste on 373.15 K. Laske veden kiehumispiste 5500 m korkuisella vuorella, missä normaali ilmanpaine on 380 Torr.
  - Hopeakloridi on niukkaliukoinen suola. Mittausten mukaan liuenneen hopeakloridin konsentraatio kylläisessä vesiliuoksessa 25 °C lämpötilassa on  $1.274 \times 10^{-5} \text{ mol dm}^{-3}$ . Oleta, että Debye-Hückelin rajalaki on voimassa ja laske hopeakloridin liukoisuustulo.

## Tentti

## Length

meter (SI unit)	m	
centimeter	cm	$\text{cm} = 10^{-2} \text{ m}$
ångström	Å	$= 10^{-10} \text{ m}$
micron	$\mu$	$= 10^{-6} \text{ m}$

## Volume

cubic meter (SI unit)	$\text{m}^3$	
liter	L	$= \text{dm}^3 = 10^{-3} \text{ m}^3$

## Mass

kilogram (SI unit)	kg	
gram	g	$10^{-2} \text{ kg}$

## Energy

joule (SI unit)	J	
erg	erg	$= 10^{-7} \text{ J}$
rydberg	Ry	$= 2.17987 \times 10^{-18} \text{ J}$
electron volt	eV	$= 1.60218 \times 10^{-19} \text{ J}$
inverse centimeter	$\text{cm}^{-1}$	$= 1.98645 \times 10^{-23} \text{ J}$
calorie (thermochemical)	Cal	$= 4.184 \text{ J}$
liter atmosphere	l atm	$= 101.325 \text{ J}$

## Pressure

pascal (SI unit)	Pa	
atmosphere	atm	$= 101325 \text{ Pa}$
bar	bar	$= 10^5 \text{ Pa}$
torr	Torr	$= 133.322 \text{ Pa}$
pounds per square inch	psi	$= 6.894757 \times 10^3 \text{ Pa}$

## Power

watt (SI unit)	W	
Horsepower	hp	$= 745.7 \text{ W}$

## Angle

radian (SI unit)	rad	
degree	$^\circ$	$= \frac{2\pi}{360} \text{ rad} = \left(\frac{1}{57.29578}\right) \text{ rad}$

## Electrical dipole moment

C m (SI unit)	D	$= 3.33564 \times 10^{-30} \text{ Cm}$
Debye		

Atomic mass constant	amu	$1.6605402 \times 10^{-27} \text{ kg}$
Avogadro's constant	$N_A$	$6.0221367 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
Bohr magneton	$\mu_B = e\hbar/2m_e$	$9.2740154 \times 10^{-24} \text{ J}^{-1}$
Bohr radius	$a_0 = 4\pi\epsilon_0\hbar^2/m_e e^2$	$5.29177249 \times 10^{-11} \text{ m}$
Boltzmann constant	$k_B$	$1.380658 \times 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$
Electron rest mass	$k_B/hc$	$0.695038 \text{ cm}^{-1} \text{ K}^{-1}$
Faraday constant	$m_e$	$9.1093897 \times 10^{-31} \text{ kg}$
Gravitational constant	F	$9.6485309 \times 10^4 \text{ Cm} \text{ mol}^{-1}$
Standard acceleration of gravity	G	$6.67259 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$
Molar gas constant	$G_n$	$9.80665 \text{ ms}^{-2}$
	R	$8.3145101 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
		$0.0831451 \text{ dm}^3 \text{ barK}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
		$0.0820578 \text{ dm}^3 \text{ atmK}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
Molar volume, ideal gas (1 bar, 0°C)		$22.71198 \text{ L mol}^{-1}$
(1 atm, 0°C)		$22.41409 \text{ L mol}^{-1}$
Nuclear magneton	$\mu_N = e\hbar/2m_p$	$5.0507866 \times 10^{-27} \text{ JT}^{-1}$
Permittivity of vacuum	$\epsilon_0$	$8.854187816 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ J}^{-1} \text{ m}^{-1}$
Planck constant	h	$6.6260755 \times 10^{-34} \text{ Js}$
	$\hbar$	$1.05457266 \times 10^{-27} \text{ Js}$
	e	$1.60217733 \times 10^{-19} \text{ C}$
Proton charge	$\gamma_p$	$2.67522128 \times 10^8 \text{ s}^{-1} \text{ T}^{-1}$
Proton magnetogyric ratio	$m_p$	$1.6726231 \times 10^{-27} \text{ kg}$
Proton rest mass	$R_\infty = m_e e^4 / 8\epsilon_0^2 h^2$	$2.1798736 \times 10^{-18} \text{ J}$
Rydberg constant		$10973731.534 \text{ m}^{-1}$
	$R_H$	$109677.581 \text{ cm}^{-1}$
Rydberg constant for H	c	$2.99792458 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$
Speed of light in vacuum		$5.67051 \times 10^{-8} \text{ Jm}^{-2} \text{ K}^{-4} \text{ s}^{-2}$
Stefan-Boltzmann constant	$\sigma = 2\pi^5 k_B^4 / 15h^3 c^2$	

**Luku 2. Lämpö, työ, sisäenergia, entalpia ja termodynamiikan 1. pääsääntö**

$$\Delta U = q + w \quad C_{P,V} = \frac{q}{\Delta T} \quad C_V = \frac{dq_V}{dT} = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V$$

$$C_P = \frac{dq_P}{dT} = \left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_P \quad w = -P_{\text{external}}\Delta V \quad w = -nRT \int \frac{dV}{V} = -nRT \ln \frac{V_f}{V_i}$$

$$C_P - C_V = nR \text{ tai } C_{P,m} - C_{V,m} = R \quad H \equiv U + PV$$

$$\Delta H = q_P = C_P(T_f - T_i) \quad \Delta U = q_V = C_V(T_f - T_i) \quad \Delta H = q_P \quad \Delta U = q_V$$

Ideaalikaasujen reversiibeli adiabaattinen laajeneminen:  $C_V \ln \frac{T_f}{T_i} = -nR \ln \frac{V_f}{V_i}$

$$\ln \left(\frac{T_f}{T_i}\right) = -(\gamma - 1) \ln \left(\frac{V_f}{V_i}\right) \text{ tai yhtäpitävästi } \frac{T_f}{T_i} = \left(\frac{V_f}{V_i}\right)^{1-\gamma}$$

$$P_i V_i^\gamma = P_f V_f^\gamma \quad \gamma = \frac{C_{P,m}}{C_{V,m}}$$

**Luku 3. Tilan funktioiden merkitys: sisäenergia ja entalpia**

Tilavuuden terminen laajenemiskerroin:  $\beta = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P$

Isoterminen puristuvuus:  $\kappa = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_T$

$$\Delta U_V = \int_{T_1}^{T_2} C_V dT = n \int_{T_1}^{T_2} C_{V,m} dT$$

$$\Delta H_P = \int_{T_i}^{T_f} C_P(T) dT = n \int_{T_i}^{T_f} C_{P,m}(T) dT$$

$$\Delta H_P = C_P \Delta T = n C_{P,m} \Delta T$$

$$C_P = C_V + TV \frac{\beta^2}{\kappa} \text{ tai } C_{P,m} = C_{V,m} + TV_m \frac{\beta^2}{\kappa}$$

$$\mu_{J-T} = \lim_{\Delta P \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta T}{\Delta P}\right)_H = \left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_H$$

**Luku 4. Termokemia**

$$\Delta H^\circ_{\text{reaction}} = \sum_i \nu_i \Delta H^\circ_{f,i}$$

$$\Delta C_P(T') = \sum_i \nu_i C_{P,i}(T')$$

$$\Delta H^\circ_{\text{reaction}} = \Delta U^\circ_{\text{reaction}} + \Delta nRT$$

**Luku 5. Entropia sekä termodynamiikan 2. ja 3. pääsääntö**

$$\varepsilon = \frac{|w_{\text{cycle}}|}{q_{ab}} = \frac{T_{\text{hot}} - T_{\text{cold}}}{T_{\text{hot}}} = 1 - \frac{T_{\text{cold}}}{T_{\text{hot}}} < 1 \quad dS \equiv \frac{dq_{\text{reversible}}}{T}$$

$$\Delta S = \int \frac{dq_{\text{reversible}}}{T} = \frac{1}{T} q_{\text{reversible}} = nR \ln \frac{V_f}{V_i}$$

$$\Delta S = \int \frac{dq_{\text{reversible}}}{T} = \int \frac{nC_{V,m} dT}{T} \approx nC_{V,m} \ln \frac{T_f}{T_i}$$

KEM-2210 Fysikaalinen kemia 1  
Tentti

$$\Delta S = \int \frac{dq_{\text{reversible}}}{T} = \int \frac{nC_{P,m}dT}{T} \approx nC_{P,m} \ln \frac{T_f}{T_i}$$

$$\Delta S = -nR \ln \frac{P_f}{P_i} + nC_{P,m} \ln \frac{T_f}{T_i}$$

$$\Delta S = \int_{T_i}^{T_f} \frac{C_P}{T} dT - \int_{P_i}^{P_f} V\beta dP$$

$$\Delta S^\circ_T = \Delta S^\circ_{298.15} + \int_{298.15}^T \frac{\Delta C^\circ_P}{T'} dT'$$

**Luku 6. Kemiallinen tasapaino**

$$A = U - TS$$

$$\Delta A = \Delta U - T\Delta S$$

$$H = U + PV$$

$$G = H - TS = U + PV - TS \quad \Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

$$dU = TdS - PdV$$

$$dH = TdS - PdV + PdV + VdP = TdS + VdP$$

$$dA = TdS - PdV - TdS - SdT \\ = -SdT - PdV$$

$$dG = TdS + VdP - TdS - SdT \\ = -SdT + VdP$$

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

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

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

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

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

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

$$\left(\frac{\partial G}{\partial T}\right)_P = -S \text{ ja } \left(\frac{\partial G}{\partial P}\right)_T = V$$

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

$$\int_{T_1}^{T_2} d\left(\frac{\Delta G}{T}\right) = \int_{T_1}^{T_2} \Delta H d\left(\frac{1}{T}\right)$$

$$\frac{\Delta G(T_2)}{T_2} = \frac{\Delta G(T_1)}{T_1} + \Delta H(T_1) \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right)$$

$$\mu_i = \left(\frac{\partial G}{\partial n_i}\right)_{P,T,n_j \neq n_i}$$

$$G = \sum_i n_i \mu_i$$

$$\Delta S_{\text{mixing}} = -\left(\frac{\partial \Delta G_{\text{mixing}}}{\partial T}\right)_P \\ = -nR \sum_i x_i \ln x_i$$

$$\Delta G^\circ_{\text{reaction}} = \sum_i \nu_i \Delta G^\circ_{f,i}$$

$$G(T,P) = G^\circ(T) + \int_{P^\circ}^P V dP = G^\circ(T) + \int_{P^\circ}^P \frac{nRT}{P'} dP' = G^\circ(T) + nRT \ln \frac{P}{P^\circ}$$

RESETOITU GRAAFINEN LASKIN SALLITTU

$$\Delta S = nR \ln \frac{V_f}{V_i} + nC_{V,m} \ln \frac{T_f}{T_i}$$

$$\Delta S = \int_{T_i}^{T_f} \frac{C_V}{T} dT + \int_{V_i}^{V_f} \frac{\beta}{\kappa} dV = C_V \ln \frac{T_f}{T_i} + \frac{\beta}{\kappa} (V_f - V_i)$$

$$\Delta S^\circ_R = \sum_i \nu_i S^\circ_i$$

**Luku 7. Reaalikaasujen ominaisuudet**

$$P = \frac{RT}{V_m - b} - \frac{a}{V_m^2} = \frac{nRT}{V - nb} - \frac{n^2 a}{V^2}$$

$$z = \frac{V_m}{V_m^{ideal}} = \frac{PV_m}{RT}$$

$$P = \frac{RT}{V_m - b} - \frac{a}{\sqrt{T} V_m (V_m + b)} = \frac{nRT}{V - nb} - \frac{n^2 a}{\sqrt{T} V (V + nb)}$$

$$T_B = \frac{a}{Rb}$$

$$\mu(T, P) = \mu^\circ(T) + RT \ln \frac{f}{f^\circ}$$

$$K_f = \frac{\left(\frac{f_{NH_3}}{f^\circ}\right)}{\left(\frac{f_{N_2}}{f^\circ}\right)^{1/2} \left(\frac{f_{H_2}}{f^\circ}\right)^{3/2}} = \frac{\left(\frac{\gamma_{NH_3} P_{NH_3}}{P^\circ}\right)}{\left(\frac{\gamma_{N_2} P_{N_2}}{P^\circ}\right)^{1/2} \left(\frac{\gamma_{H_2} P_{H_2}}{P^\circ}\right)^{3/2}} = K_P \frac{\gamma_{NH_3}}{(\gamma_{N_2})^{1/2} (\gamma_{H_2})^{3/2}}$$

**Luku 8. Faasidiagrammit**

$$\frac{dP}{dT} = \frac{\Delta S_m}{\Delta V_m}$$

$$\int_{P_i}^{P_f} \frac{dP}{P} = \frac{\Delta H_m^{vaporization}}{R} \times \int_{T_i}^{T_f} \frac{dT}{T^2}$$

$$\ln \frac{P_f}{P_i} = -\frac{\Delta H_m^{vaporization}}{R} \times \left(\frac{1}{T_f} - \frac{1}{T_i}\right)$$

$$\Delta G_{reaction} = \Delta G^\circ_{reaction} + \gamma RT \ln \frac{P_C}{P^\circ} + \delta RT \ln \frac{P_D}{P^\circ} - \alpha RT \ln \frac{P_A}{P^\circ} - \beta RT \ln \frac{P_B}{P^\circ}$$

$$\Delta G_{reaction} = \Delta G^\circ_{reaction} + RT \ln Q_P \quad Q_P = \frac{\left(\frac{P_C}{P^\circ}\right)^\gamma \left(\frac{P_D}{P^\circ}\right)^\delta}{\left(\frac{P_A}{P^\circ}\right)^\alpha \left(\frac{P_B}{P^\circ}\right)^\beta}$$

$$\ln K_P = -\frac{\Delta G^\circ_{reaction}}{RT}$$

$$\ln K_P(T_f) = \ln K_P(298.15 \text{ K}) - \frac{\Delta H^\circ_{reaction}}{R} \left(\frac{1}{T_f} - \frac{1}{298.15 \text{ K}}\right)$$

$$K_P = \frac{\left(\frac{P_C^{eq}}{P^\circ}\right)^c \left(\frac{P_D^{eq}}{P^\circ}\right)^d}{\left(\frac{P_A^{eq}}{P^\circ}\right)^a \left(\frac{P_B^{eq}}{P^\circ}\right)^b} = \frac{\left(\frac{x_C^{eq} P}{P^\circ}\right)^c \left(\frac{x_D^{eq} P}{P^\circ}\right)^d}{\left(\frac{x_A^{eq} P}{P^\circ}\right)^a \left(\frac{x_B^{eq} P}{P^\circ}\right)^b} = \frac{(x_C^{eq})^c (x_D^{eq})^d}{(x_A^{eq})^a (x_B^{eq})^b} \left(\frac{P}{P^\circ}\right)^{d+c-a-b} = K_x \left(\frac{P}{P^\circ}\right)^{\Delta v}$$

$$K_x = K_P \left(\frac{P}{P^\circ}\right)^{-\Delta v}$$

$$K_P = \frac{\left(\frac{P_C^{eq}}{P^\circ}\right)^c \left(\frac{P_D^{eq}}{P^\circ}\right)^d}{\left(\frac{P_A^{eq}}{P^\circ}\right)^a \left(\frac{P_B^{eq}}{P^\circ}\right)^b} = \frac{\left(\frac{c_C^{eq}}{c^\circ}\right)^c \left(\frac{c_D^{eq}}{c^\circ}\right)^d}{\left(\frac{c_A^{eq}}{c^\circ}\right)^a \left(\frac{c_B^{eq}}{c^\circ}\right)^b} \left(\frac{c^\circ RT}{P^\circ}\right)^{d+c-a-b} = K_c \left(\frac{c^\circ RT}{P^\circ}\right)^{\Delta v}$$

$$K_c = K_P \left(\frac{c^\circ RT}{P^\circ}\right)^{-\Delta v}$$

### Luku 9. Ideaali- ja reaaliliuokset

Raoultin laki:  $P_i = x_i P_i^*$

Daltonin osapainelaki:  $y_i = \frac{P_i}{P_{total}}$

Kemiallinen potentiaali:  $\mu_i^{solution} = \mu_i^* + RT \ln \frac{P_i}{P_i^*} = \mu_i^* + RT \ln a_i$

Gibbs – Duhem yhtälö:  $\sum_i n_i d\mu_i = 0$   $T, P$  vakioita

Jäätymispisteen alenema:  $\Delta T_f = -\frac{RM_{solvent} T_{fusion}^2}{\Delta H_{fusion,m}} m_{solute} = -K_f m_{solute}$

Kiehumispisteen kohoama:  $\Delta T_b = \frac{RM_{solvent} T_{vaporization}^2}{\Delta H_{vaporization,m}} m_{solute} = K_b m_{solute}$

Osmoottinen paine:  $\pi = \frac{n_{solute} RT}{V}$

Partiaallinen moolitilavuus:  $\bar{V}_1(P, T, n_1, n_2) = \left(\frac{\partial V}{\partial n_1}\right)_{T, P, n_2}$   $V = n_1 \bar{V}_1(P, T, n_1, n_2) + n_2 \bar{V}_2(P, T, n_1, n_2)$

Aktiivisuus:  $a_i = \frac{P_i}{P_i^*} = \gamma_i x_i$

Tasapainovakio:  $K = \prod_i (a_i^{eq})^{v_j} = \prod_i (\gamma_i^{eq})^{v_j} \left(\frac{c_i^{eq}}{c^o}\right)^{v_j}$

### Luku 10. Elektrolyyttiliuokset

Elektrolyytin keskimääräinen kemiallinen potentiaali:  $\mu_{\pm} = \frac{\mu_{solute}}{\nu} = \frac{\nu_+ \mu_+ + \nu_- \mu_-}{\nu}$

$$= \mu_{\pm}^o + RT \ln a_{\pm}$$

Keskiaktiivisuus:  $a_{\pm}^{\nu} = a_+^{\nu_+} a_-^{\nu_-}$  tai  $a_{\pm}$

$$= (a_+^{\nu_+} a_-^{\nu_-})^{1/\nu}$$

$$\nu = \nu_+ + \nu_-$$

Keskiaktiivisuuskerroin:  $\gamma_{\pm}^{\nu} = \gamma_+^{\nu_+} \gamma_-^{\nu_-}$

Keskimolaalisuus:  $m_{\pm}^{\nu} = m_+^{\nu_+} m_-^{\nu_-}$

Ionivahvuus:  $I = \frac{m}{2} \sum (v_i z_i^2) = \frac{1}{2} \sum (m_i z_i^2)$

Keskiaktiivisuuskerroin vesiliuoksessa 25 °C lämpötilassa:

$$\log \gamma_{\pm} = -0.5092 |z_+ z_-| \sqrt{I} \text{ tai } \ln \gamma_{\pm} = -1.173 |z_+ z_-| \sqrt{I}$$

Ionin aktiivisuuskerroin vesiliuoksessa 25 °C lämpötilassa:

$$\log \gamma_i = -0.5092 (z_i)^2 \sqrt{I} \text{ tai } \ln \gamma_i = -1.173 (z_i)^2 \sqrt{I}$$

Reaktiolle:  $A_{\nu_+} B_{\nu_-} \rightarrow \nu_+ A^{z_+} + \nu_- A^{z_-}$

liukoisuustulo on  $K_s = a_+^{\nu_+} a_-^{\nu_-}$  ja liukoisuus  $s = \frac{1}{\nu_+} m_+ = \frac{1}{\nu_-} m_-$