

Henryho zákon; (1)=rozpouštědlo, (2)=rozpuštěný plyn:

$$p_2 = K_H x_2 \text{ nebo } c_2 = k_{h[c]}^\circ p_2 \text{ nebo } m_2 = k_{h[m]}^\circ p_2$$

1. Henryho zákon

Kolik litrů O_2 , N_2 a CO_2 (měřeno za stejné teploty a tlaku) je rozpuštěno v dobře vzduchovaném stolitrovém akváriu za teploty $0^\circ C$? Ve vzduchu je 21 % O_2 , 78 % N_2 a 426 ppm CO_2 . Henryho konstanty pro složení vyjádřené molárním zlomkem: $K_H(O_2) = 4.40 \text{ GPa}$, $K_H(N_2) = 8.68 \text{ GPa}$, $K_H(CO_2) = 167 \text{ MPa}$.

ε^{upp} zε0'0 'ε^{upp} εT'1 'ε^{upp} 09'0



$$n_1 = 100 \text{ [L]} * 1 \text{ [kg.L}^{-1}\text{]} / M(H_2O) = 5551 \text{ mol}$$

$$T = 0 \text{ } ^\circ C = 273.1 \text{ K}$$

$$p_0 = 1 \text{ [bar]} = 1e+05 \text{ Pa na tlaku nezáleží, stanovujeme-li objem plynu}$$

O_2 :

$$K_H = 4.40 \text{ [GPa]} = 4.4e+09 \text{ Pa}$$

$$p = 0.21 * p_0 = 2.1e+04 \text{ Pa}$$

$$x = p / K_H = 4.773e-06$$

$$n = x * n_1 = 0.02649 \text{ mol}$$

$$V = n * R * T / p_0 = 0.0006017 \text{ m}^3$$

$$\text{to L} = 0.6017 \text{ L}$$

N_2 :

$$K_H = 8.69 \text{ [GPa]} = 8.69e+09 \text{ Pa}$$

$$p = 0.78 * p_0 = 7.8e+04 \text{ Pa}$$

$$x = p / K_H = 8.976e-06$$

$$n = x * n_1 = 0.04982 \text{ mol}$$

$$V = n * R * T / p_0 = 1.132 \text{ L}$$

CO_2 :

$$K_H = 167 \text{ [MPa]} = 1.67e+08 \text{ Pa}$$

$$p = 426e-6 * p_0 = 42.6 \text{ Pa}$$

$$x = p / K_H = 2.551e-07$$

$$n = x * n_1 = 0.001416 \text{ mol}$$

$$V = n * R * T / p_0 = 0.03216 \text{ L}$$

2. Henryho konstanta

Plynná směs obsahující 10 mol.% chloru (zbytek je dusík) byla za teploty $25^\circ C$ a tlaku 100 kPa probublávána ethylbenzenem. V 1 dm^3 ethylbenzenu bylo zjištěno 0.166 mol Cl_2 . Určete Henryho konstantu chloru:

- $k_{h[c]}^\circ$ (v $\text{mol dm}^{-3} \text{ kPa}^{-1}$ pro složení dané látkovou koncentrací),
- $k_{h[m]}^\circ$ (v $\text{mol kg}^{-1} \text{ bar}^{-1}$ pro složení dané molalitou),
- K_H (v kPa pro složení vyjádřené molárním zlomkem).

a jeho rozpustnost (v g dm^{-3}) při téže teplotě za parciálního tlaku chloru 3.7 kPa. Hustota ethylbenzenu je 0.863 g cm^{-3} .

$$k_{h[c]}^\circ = 0.0166 \text{ mol dm}^{-3} \text{ kPa}^{-1}; k_{h[m]}^\circ = 1.92 \text{ mol kg}^{-1} \text{ bar}^{-1}; K_H = 500 \text{ kPa}, 4.3 \text{ g dm}^{-3}$$

$$n_2 = 0.166 \text{ [mol]} = 0.166 \text{ mol}$$

$$V = 1 \text{ [dm}^3\text{]} = 1 \text{ L}$$

$$c = (\text{removed})$$

$c=n_2/V = 0.166 \text{ mol L}^{-1}$
 $p_2=10 [\text{kPa}] = 1e+04 \text{ Pa}$
 $khc=c/p_2 = 0.0166 \text{ m}^{-2} \text{ kg}^{-1} \text{ s}^2 \text{ mol}$
 $\text{to mol.L}^{-1}.\text{kPa}^{-1} = 0.0166 \text{ mol L}^{-1} \text{ kPa}^{-1} \text{ — a) —}$
 $m_1=0.863 [\text{kg.L}^{-1}]*V = 0.863 \text{ kg}$
 $mm=n_2/m_1 = 0.1924 \text{ mol/kg}$
 $khm=mm/p_2 = 1.924e-05 \text{ m kg}^{-2} \text{ s}^2 \text{ mol}$
 $\text{to mol.kg}^{-1}.\text{bar}^{-1} = 1.924 \text{ mol kg}^{-1} \text{ bar}^{-1} \text{ — b) —}$
 $n_1=m_1/M(\text{C}_6\text{H}_5\text{C}_2\text{H}_5) = 8.129 \text{ mol}$
 $x_2=n_2/n_1 = 0.02042 \text{ — přibližně}$
 $x_2=n_2/(n_1+n_2) = 0.02001 \text{ — přesněji}$
 $KH=p_2/x_2 = 4.997e+05 \text{ Pa — c) —}$
 $p_{2x}=3.7 [\text{kPa}] = 3700 \text{ Pa}$
 podle a) —
 $n_{2x}=khc*p_{2x} = 0.06142 \text{ mol L}^{-1}$
 $m_{2x}=n_{2x}*M(\text{Cl}_2) = 4.355 \text{ kg m}^{-3}$
 $\text{to g.L}^{-1} = 4.355 \text{ g L}^{-1}$
 podle c) —
 $x_{2x}=p_{2x}/KH = 0.007405 \text{ — přibližně (protože } n_2 \ll n_1):$
 $n_{2x}=n_1*x_{2x} = 0.06019 \text{ mol}$
 $m_{2x}=n_{2x}*M(\text{Cl}_2) = 0.004268 \text{ kg}$
 $\text{to g} = 4.268 \text{ g}$
 $\text{přesněji řešíme } x_2=n_2/(n_1+n_2)$
 $n_{2x}=n_1*x_{2x}/(1-x_{2x}) = 0.06064 \text{ mol}$
 $m_{2x}=n_{2x}*M(\text{Cl}_2) = 4.3 \text{ g}$
 $\text{nebo na základě přímé úměry}$
 $n_{2x}=p_{2x}/p_2*n_2 = 0.06142 \text{ mol}$
 $m_{2x}=n_{2x}*M(\text{Cl}_2) = 4.355 \text{ g}$

3. +Clausius-Clapeyron – opakování

Tlak nasycených par diethyletheru při teplotě 30 °C je 0.863 bar, při 40 °C je 1.229 bar. Vypočtete výparnou entalpii (předpokládejte, že nezávisí na teplotě) a normální teplotu varu.

$$\Delta H_{\text{vap}} = 27.91 \text{ kJ mol}^{-1}; T_{\text{norm}} = 307.6 \text{ K} = 34.5 \text{ °C}$$

$T_1=30 \text{ °C} = 303.1 \text{ K}$
 $p_{1s}=0.863 [\text{bar}] = 8.63e+04 \text{ Pa}$
 $T_2=40 \text{ °C} = 313.1 \text{ K}$
 $p_{2s}=1.229 [\text{bar}] = 1.229e+05 \text{ Pa}$
 $DH=R*\ln(p_{1s}/p_{2s})/(1/T_2-1/T_1) = 2.791e+04 \text{ J mol}^{-1}$
 $\text{to kJ.mol}^{-1} = 27.91 \text{ kJ mol}^{-1}$
 $T=1/(1/T_1-\ln(101325 [\text{Pa}]/p_{1s})*R/DH) = 307.6 \text{ K}$

4. +Přehánění s vodní parou

Prakticky nemísitelná směs N,N-diethylanilinu (1) a vody (2) vře za tlaku 101.32 kPa při teplotě 99,4 °C. Tlak nasycených par vody při této teplotě je 99.2 kPa. Kolik gramů vody je třeba za daných podmínek k predestilování 100 g N,N-diethylanilinu?

8.99g

$p_{\text{voda}}=99.2 [\text{kPa}] = 9.92e+04 \text{ Pa}$
 $p_{\text{DEA}}=101.32 [\text{kPa}]-p_{\text{voda}} = 2120 \text{ Pa}$
 $n_{\text{DEA}}=100 [\text{g}]/M(\text{C}_6\text{H}_5\text{NC}_4\text{H}_{10}) = 0.6701 \text{ mol}$
 $n(\text{voda}):n(\text{DEA}) = p(\text{voda}):p(\text{DEA})$

$$n_{\text{voda}} = n_{\text{DEA}} / p_{\text{DEA}} * p_{\text{voda}} = 31.36 \text{ mol}$$

$$m_{\text{voda}} = n_{\text{voda}} * M(\text{H}_2\text{O}) = 564.9 \text{ g}$$

5. Snížení tlaku páry nad roztokem

K 500 cm³ vody bylo při teplotě 50 °C přidáno 10 cm³ glycerinu (C₃H₈O₃). Vypočítejte snížení tlaku páry nad tímto roztokem. Tlak páry čisté vody při uvedené teplotě je 12.332 kPa, její hustota 0.988 g cm⁻³ a hustota glycerinu je 1.26 g cm⁻³. Tlak nasycených par glycerinu je zanedbatelný.

$$\Delta p = p_{\text{voda}} - p_{\text{roztok}}$$

$$n_1 = 500 [\text{cm}^3] * 0.988 [\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}] / M(\text{H}_2\text{O}) = 27.42 \text{ mol}$$

$$n_2 = 10 [\text{cm}^3] * 1.26 [\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}] / M(\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3) = 0.1368 \text{ mol}$$

$$x_1 = n_1 / (n_1 + n_2) = 0.995$$

$$p_s = 12.332 [\text{kPa}] = 1.2332 \times 10^4 \text{ Pa}$$

$$p_x = x_1 * p_s = 1.227 \times 10^4 \text{ Pa}$$

$$\Delta p = p_s - p_x = 61.22 \text{ Pa}$$

Ebulioskopie a kryoskopie; (1)=rozpouštědlo, (2)=rozpuštěná látka (netěkavá)

$$\Delta T_{1,\text{varu}} = K_E m_2, \quad \Delta T_{1,\text{tání}} = -K_K m_2, \quad \text{id. } \odot: K_E = \frac{RT_{\text{varu}}^2 M_1}{\Delta H_{\text{vyp},1}}, \quad K_K = \frac{RT_{\text{tání}}^2 M_1}{\Delta H_{\text{tání},1}}$$

6. Ebulioskopie

Určete ebulioskopickou konstantu vody, jestliže roztok obsahující 0.45 g močoviny (NH₂CO NH₂) ve 22.5 g vody vře za standardního tlaku při teplotě o 0.170 K vyšší než čistá voda. Srovnajte s teoretickou hodnotou. Výparné teplo vody při normální teplotě varu je 40.62 kJ mol⁻¹. Ebulioskopickou konstantu vypočtete z dat.

$$K_E = \frac{RT_{\text{varu}}^2 M_1}{\Delta H_{\text{vyp},1}}, \quad K_K = \frac{RT_{\text{tání}}^2 M_1}{\Delta H_{\text{tání},1}}$$

$$n_2 = 0.45 [\text{g}] / M(\text{NH}_2\text{CONH}_2) = 0.007493 \text{ mol}$$

$$m = n_2 / 22.5 [\text{g}] = 0.333 \text{ mol/kg}$$

$$K_{E,\text{exp}} = 0.17 [\text{K}] / m = 0.5105 \text{ kg K mol}^{-1}$$

$$K_{E,\text{teor}} = R * (100 \text{ } ^\circ\text{C}) ** 2 * M(\text{H}_2\text{O}) / 40.62 [\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}] = 0.5135 \text{ kg K mol}^{-1}$$

7. Pákové pravidlo

Při teplotě 250 K má ethan tlak nasycených par 1.302 MPa. Hustota nasyceného kapalného ethanu je $\rho^{(l)} = 0.4582 \text{ g cm}^{-3}$ nasyceného plynného ethanu $\rho^{(g)} = 0.02371 \text{ g cm}^{-3}$. Jaký je tlak v tlakové láhvi o objemu 5 L a kolik ethanu se nachází v kapalně fázi, je-li v tlakové láhvi 150 g ethanu?

$$1.302 \text{ MPa}; 33 \text{ g} (2\%)$$

$$\rho_{\text{hol}} = 0.4582 [\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}] = 458.2 \text{ g L}^{-1}$$

$$\rho_{\text{hog}} = 0.02371 [\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}] = 23.71 \text{ g L}^{-1}$$

$$m = 150 [\text{g}] = 150 \text{ g}$$

$$V = 5 [\text{L}] = 5 \text{ L}$$

$$\rho = m / V = 30 \text{ g L}^{-1} \text{ průměrná hustota pro použití pákového pravidla}$$

aditivní je objem, který je nepřímo úměrný hustotě

$$m_l = m * (1 / \rho_{\text{hog}} - 1 / \rho) / (1 / \rho_{\text{hol}} - 1 / \rho) = 33.17 \text{ g}$$

$$\text{alternativní postup: řešíme rovnice } m_l + m_g = m, \quad m_l / \rho_{\text{hol}} + m_g / \rho_{\text{hog}} = V$$

z první rovnice vyjádříme $m_g = m - m_l$ a dosadíme do druhé \Rightarrow

$$m_l = (V - m / \rho_{\text{hog}}) / (1 / \rho_{\text{hol}} - 1 / \rho_{\text{hog}}) = 33.17 \text{ g}$$

8. Pákové pravidlo

Smíchali jsme 108 g vody a 148 g 1-butanolu, ohřáli na 353 K a po protřepání oddělili obě fáze a

zvážili.

- Kolik které fáze jsme získali?
- Kolik bychom museli přidat butanolu, abychom získali jednu fázi?

a) 57 g fáze bohatší na vodu (spodní) a 199 g fáze bohatší na butanol (horní), b) 136 g

```

nv=108[g]/M(H2O) = 5.995 mol
nb=148[g]/M(C4H9OH) = 1.997 mol
n=nv+nb = 7.992 mol
x=nb/n = 0.2499
xi=0.017 = 0.017 butanolu, z diagramu; fáze i
xii=0.390 = 0.39 butanolu, z diagramu; fáze ii
ni=(xii-x)/(xii-xi)*n = 3.003 mol
nii=(x-xi)/(xii-xi)*n = 4.989 mol
mi=ni*(xi*M(C4H9OH)+(1-xi)*M(H2O)) = 56.96 g
mii=nii*(xii*M(C4H9OH)+(1-xii)*M(H2O)) = 199 g
mi+mii = 256 g kontrola
— b) — rovnice xii=nb/(nv+nb) —
nbx=nv/(1/xii-1) = 3.833 mol
Dnb=nbx-nb = 1.836 mol
Dmb=Dnb*M(C4H9OH) = 136.1 g
    
```

