

Egykomponensű rendszerek termodinamikája

F75. Mennyi a víz forráspontja egy olyan hegy tetején, ahol a légköri nyomás 0,879 bar? A víz átlagos párolgáshője $40,64 \text{ kJ mol}^{-1}$.

Forráspont: amikor a folyadék gőznyomása megegyezik a légköri nyomással.

Clausius - Clapeyron egyenlet:

$$\frac{d \ln p}{dT} = \frac{\Delta_{\text{vap}} H}{RT^2}$$

$$d \ln p = \frac{\Delta_{\text{vap}} H}{RT^2} dT = \frac{\Delta_{\text{vap}} H}{R} \cdot \frac{dT}{T^2}$$

$$\int_{p_1}^{p_2} d \ln p = \frac{\Delta_{\text{vap}} H}{R} \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T^2}$$

$$\ln \frac{p_2}{p_1} = - \frac{\Delta H}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

$$p_1 = 1,01325 \text{ bar}$$

$$T_1 = 373,15 \text{ K}$$

(1 atm = 1,01325 bar
(nyilvánosan a víz forráspontja 100 °C))

$$p_2 = 0,879 \text{ bar}$$

$$T_2 = ?$$

$$\ln 0,8675 = - \frac{40640}{8,314} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{373,15} \right)$$

$$T_2 = \underline{\underline{369,14 \text{ K} = 95,99 \text{ °C}}}$$

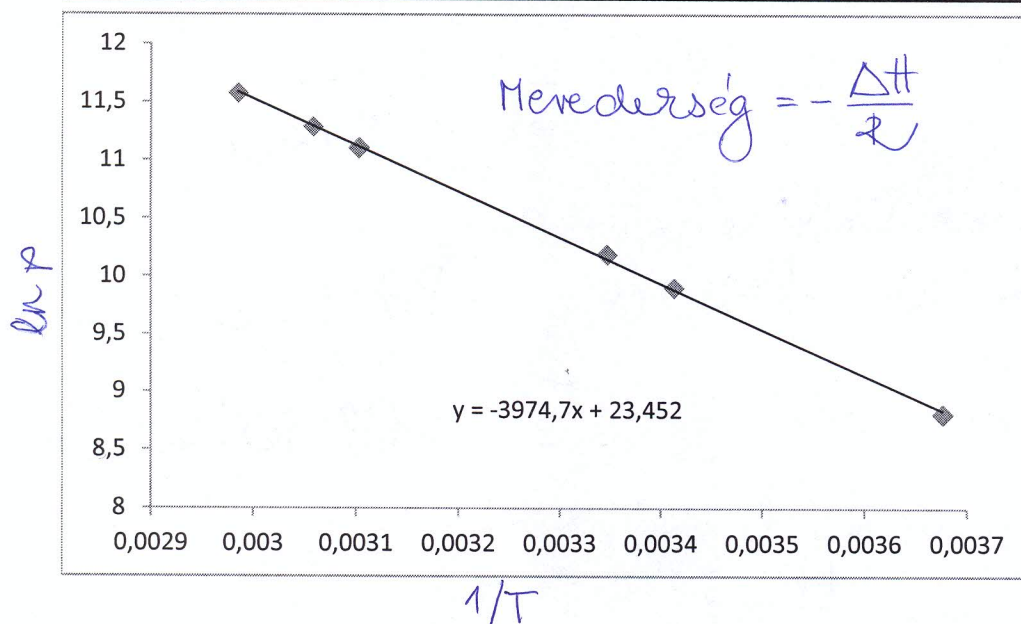
F76. A kloroform egyensúlyi gőznyomásának hőmérsékletfüggését az alábbi táblázat adja meg:

T/K	272	293	298,8	322,3	327	335
$p/(10^3 \text{ Pa})$	6,7	20,0	26,7	66,7	80,0	106,7

Határozza meg a 300 K-hez tartozó gőznyomást és számítsa ki a kloroform párolgáshőjét.

Clausius - Clapeyron egyenlet lineárisítása

$1/T$	0,003676	0,003413	0,003347	0,003103	0,003058	0,002985
$\ln p$	8,809863	9,903488	10,19242	11,10796	11,28978	11,57778



$$-3974,7 = -\frac{\Delta H}{R}$$

$$\Delta_{\text{vap}} H = 33045,7 \text{ J/mol} = \underline{\underline{33,05 \text{ kJ/mol}}}$$

IHa $T = 300 \text{ K}$, akkor $\ln p$ beolvasható az ábránál, vagy beírható:

$$\ln p = -3974,7 \cdot \frac{1}{300} + 23,452 = 10,203$$

$$p = \underline{\underline{26984 \text{ Pa}}}$$

F77. Egy 75 kg tömegű ember 30 cm hosszúságú korcsolyájának éle 0,10 mm. Tud-e korcsolyázni $-3,0\text{ }^\circ\text{C}$ hidegben, ha feltételezzük, hogy a jégen való siklás feltétele az, hogy a jég azon a kis felületen, ahol a korcsolyával érintkezik, megolvadjon? A víz sűrűsége $1,0\text{ g cm}^{-3}$, a jégé pedig $0,9\text{ g cm}^{-3}$. A víz olvadáshője $\Delta_{\text{fus}}H^\circ = 6,00\text{ kJ mol}^{-1}$.

Fel pár korcsolya esetén (egy lábán sziklik):

$$A = 0,3\text{ m} \cdot 10^{-4}\text{ m} = 3 \cdot 10^{-5}\text{ m}^2$$

$$p = \frac{F}{A} = \frac{m \cdot g}{A} = \frac{75 \cdot 9,81}{3 \cdot 10^{-5}} = 24525000\text{ Pa}$$

Clapeyron-egyenlet: $\frac{dp}{dT} = \frac{\Delta_{\text{fus}}H}{T \cdot \Delta V_{\text{fus}}}$

A víz moláris térfogata:

$$1\text{ mol víz} \xrightarrow{\cdot M_{\text{H}_2\text{O}}} 18\text{ g} \xrightarrow{:\rho=1} 18\text{ cm}^3/\text{mol} = 1,8 \cdot 10^{-5}\text{ m}^3/\text{mol}$$

A jég moláris térfogata:

$$1\text{ mol jég} \xrightarrow{\cdot M} 18\text{ g} \xrightarrow{:\rho=0,9} 20\text{ cm}^3/\text{mol} = 2 \cdot 10^{-5}\text{ m}^3/\text{mol}$$



$$\Delta V_m = V_m(\text{víz}) - V_m(\text{jég}) = -2 \cdot 10^{-6}\text{ m}^3/\text{mol}$$

$$p_2 - p_1 = \frac{\Delta_{\text{fus}}H}{\Delta V_m} \ln \frac{T_2}{T_1}$$

$$\left[\begin{array}{l} T_1 = 273,15\text{ K} \\ p_1 = 10^5\text{ Pa} \end{array} \right]$$

$$24525000 = -\frac{6000}{2 \cdot 10^{-6}} \ln \frac{T_2}{273,15}$$

$$T_2 = 270,93\text{ K} = \underline{\underline{-2,22\text{ }^\circ\text{C}}} \rightarrow \text{Nem tud korcsolyázni.}$$

Egy pár korcsolya (két lábán): $A = 6 \cdot 10^{-5}\text{ m}^2$

$$p = 12262500\text{ Pa}; T = 272,04\text{ K} = -1,1\text{ }^\circ\text{C}$$

- F78. Egy $5,0 \text{ m} \times 10,0 \text{ m} \times 4,0 \text{ m}$ -es tanterem $20 \text{ }^\circ\text{C}$ -os levegőjének relatív páratartalma 60% . A víz telített gőznyomása ezen a hőmérsékleten 2314 Pa . Hány kilogramm vízgőz van a helyiség levegőjében?

$$V = 50 \cdot 10 \cdot 4 = 200 \text{ m}^3$$

$$p_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{60}{100} \cdot 2314 \text{ Pa} = 1388,4 \text{ Pa}$$

$$T = 293,15 \text{ K}$$

$$pV = nRT \rightarrow n = \frac{pV}{RT} = \frac{1388,4 \cdot 200}{8,314 \cdot 293,15} = 114 \text{ mol}$$

$$M_{\text{H}_2\text{O}} = 18 \text{ g/mol}$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = n \cdot M_{\text{H}_2\text{O}} = 2050,77 \text{ g} = \underline{\underline{2,05077 \text{ kg}}}$$

- F79. A diklór-metán gőznyomása 24,1 °C-on 450 Torr, párolgási entalpiája 28,7 kJ mol⁻¹. Számítsa ki azt a hőmérsékletet, amelyiken a gőznyomás 500 Torr.

Clausius-Clapeyron egyenlet (lásd: F75)

$$\ln \frac{p_2}{p_1} = - \frac{\Delta H}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) = \frac{\Delta H}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$$

$$\ln \frac{500}{450} = \frac{28700}{8,314} \left(\frac{1}{297,25} - \frac{1}{T_2} \right)$$

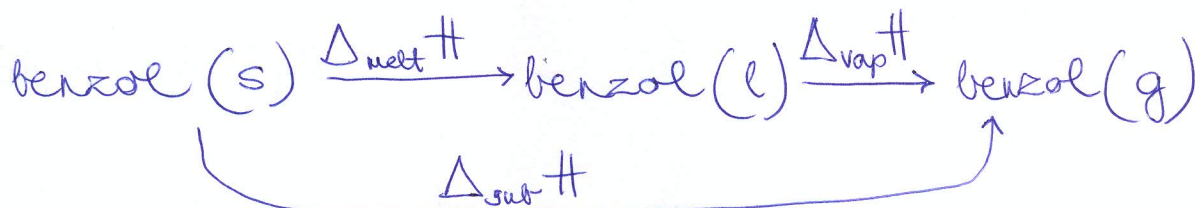
$$T_2 = 299,97 \text{ K} = \underline{\underline{26,82 \text{ °C}}}$$

F80. A szilárd benzol gőznyomása $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on 298 Pa , $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on pedig 3266 Pa . A folyadék állapotú benzol gőznyomása 6173 Pa $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on és 15798 Pa $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on. Ezekből az adatokból számítsa ki a benzol olvadáshőjét.

Clausius - Clapeyron egyenlet alkalmazása szublimálására és párolgására is:

$$\Delta_{\text{sub}}^{\#} = \frac{R \cdot \ln \frac{p_2}{p_1}}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}} = \frac{8,314 \cdot \ln \frac{3266}{298}}{\frac{1}{243,15} - \frac{1}{273,15}} = 44,068 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta_{\text{vap}}^{\#} = \frac{8,314 \cdot \ln \frac{15798}{6173}}{\frac{1}{283,15} - \frac{1}{303,15}} = 33,531 \text{ kJ/mol}$$



$$\Delta_{\text{melt}}^{\#} + \Delta_{\text{vap}}^{\#} = \Delta_{\text{sub}}^{\#}$$

$$\Delta_{\text{melt}}^{\#} = \Delta_{\text{sub}}^{\#} - \Delta_{\text{vap}}^{\#} = \underline{\underline{10,538 \text{ kJ/mol}}}$$

F81. Egy bizonyos szilárd anyag móltérfogata 1,00 atm nyomáson és olvadáspontján (350,7 K) $161,0 \text{ cm}^3 \text{ mol}^{-1}$. A folyadék móltérfogata ugyanezen a hőmérsékleten és nyomáson $163,3 \text{ cm}^3 \text{ mol}^{-1}$. A szilárd anyag olvadáspontja 100 atm nyomáson 351,26 K. Számítsa ki a szilárd anyag moláris olvadási entalpiáját és moláris olvadási entrópiáját.

Clapeyron - egyenlet (lásd: F77)

$$p_2 - p_1 = \frac{\Delta_{\text{fus}} H}{\Delta V_m} \ln \frac{T_2}{T_1}$$

$$p_2 = 10132500 \text{ Pa}$$

$$p_1 = 101325 \text{ Pa}$$

$$T_2 = 351,26 \text{ K}$$

$$T_1 = 350,7 \text{ K}$$

$$\Delta V_m = 163,3 - 161 =$$

$$= 2,3 \text{ cm}^3 / \text{mol} =$$

$$= 2,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 / \text{mol}$$

$$10132500 - 101325 = \frac{\Delta_{\text{fus}} H}{2,3 \cdot 10^{-6}} \ln \frac{351,26}{350,7}$$

$$\Delta_{\text{fus}} H = 14460 \text{ J/mol} = \underline{\underline{14,46 \text{ kJ/mol}}}$$

$$\Delta_{\text{fus}} S = \frac{\Delta_{\text{fus}} H}{T} = \frac{14460}{351} = \underline{\underline{41,2 \text{ J/(mol}\cdot\text{K)}}}$$

F82. Ismeretes, hogy egy folyadék gőznyomása a 200-260 K hőmérséklettartományban a következő kifejezéssel számítható:

$$\ln(p/\text{Torr}) = 16,255 - \frac{2501,8}{T/\text{K}}$$

Számítsa ki a folyadék párolgási entalpiáját.

Clausius - Clapeyron egyenlet alapján:

$$\Delta_{\text{vap}} H = \frac{R \cdot \ln \frac{p_2}{p_1}}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}} = \frac{R \cdot (\ln p_2 - \ln p_1)}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}} =$$

$$= \frac{8,314 \left(\cancel{16,255} - \frac{2501,8}{T_2} - \left[\cancel{16,255} - \frac{2501,8}{T_1} \right] \right)}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}} =$$

$$= \frac{8,314 \left(\frac{2501,8}{T_1} - \frac{2501,8}{T_2} \right)}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}} = 8,314 \cdot 2501,8 = \underline{\underline{20,817 \text{ kJ/mol}}}$$

F83. Számítsa ki a munkavégzést, amikor a 25 °C-os víz felületét 150 cm²-ről 2500 cm²-re növeljük. A víz felületi feszültsége ezen a hőmérsékleten $7,20 \cdot 10^{-2} \text{ N m}^{-1}$.

$$\Delta A = 2500 - 150 = 2350 \text{ cm}^2 = 0,235 \text{ m}^2$$

$$W = \gamma \cdot \Delta A = 7,20 \cdot 10^{-2} \text{ N/m} \cdot 0,235 \text{ m}^2 =$$

$$= \underline{\underline{0,01692 \text{ J}}}$$

F84. Számítsa ki a $0,871 \text{ g cm}^{-3}$ sűrűségű folyadék felületi feszültségét, amelyről ismeretes, hogy a $0,80 \text{ mm}$ átmérőjű kapillárisban $1,20 \text{ cm}$ -t emelkedik.

$$\rho = 871 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$r = 0,4 \text{ mm} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

$$h = 1,2 \text{ cm} = 1,2 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$h = \frac{2\gamma}{\rho \cdot g \cdot r}$$

$$\gamma = \frac{h \cdot \rho \cdot g \cdot r}{2} = \underline{\underline{0,02051 \text{ N/m}}}$$

- F85. A CCl_4 gőznyomása cseppek formájában 20°C -on $0,90$ Torr nyomással nagyobb, mint egyetlen tömegben, amikor $87,05$ Torr. A folyadék sűrűsége $1,60 \text{ g cm}^{-3}$. Számítsa ki a cseppek sugarát. *A szén-tetraklorid felületi feszültsége $0,027 \text{ N/m}$.*

Kelvin-egyenlet:
$$p = p^* \cdot e^{\frac{2\gamma V_m}{rTr}}$$

1 mol CCl_4

↓ · M

$$m = 153,8 \text{ g}$$

↓ : ρ

$$V_m = 96,125 \text{ cm}^3/\text{mol} = 9,6125 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{mol}$$

$$\frac{p}{p^*} = e^{\frac{2\gamma V_m}{rTr}}$$

$$\frac{87,95}{87,05} = e^{\frac{2 \cdot 0,027 \cdot 9,6125 \cdot 10^{-5}}{8,314 \cdot 293,15 \cdot r}}$$

$$r = 2,07 \cdot 10^{-7} \text{ m} = \underline{\underline{207 \text{ nm}}}$$

F86. Ha a benzol $5,5^\circ\text{C}$ -on megfagy, akkor sűrűsége $0,879\text{ g cm}^{-3}$ -ről $0,891\text{ g cm}^{-3}$ -re változik. Az olvadási entalpia $10,59\text{ kJ mol}^{-1}$. Határozza meg a benzol fagyáspontját 1000 atm nyomáson.

$$V_m(\text{benzol, f}) = \frac{78,1048\text{ g/mol}}{0,879 \cdot 10^6\text{ g/m}^3} = 8,87918 \cdot 10^{-5}\text{ m}^3/\text{mol}$$

$$V_m(\text{benzol, sz}) = \frac{78,1048}{0,891 \cdot 10^6} = 8,7596 \cdot 10^{-5}\text{ m}^3/\text{mol}$$

Clapeyron-egyenlet: $\frac{dp}{dT} = \frac{\Delta_{\text{fus}} H}{T \cdot \Delta V_m}$

$$p_2 - p_1 = \frac{\Delta H}{\Delta V} \ln \frac{T_2}{T_1}$$

$$101325000 - 10^5 = \frac{10590}{8,87918 \cdot 10^{-5} - 8,7596 \cdot 10^{-5}} \ln \frac{T_2}{278,65}$$

$$T_2 = 281,85\text{ K} = \underline{\underline{8,70^\circ\text{C}}}$$

F87. Egy nyári napon a földfelszínre beeső napfény teljesítménysűrűsége $1,2 \text{ kW m}^{-2}$. Egy uszodában egy 50 m^2 -es felületű vízfelszín közvetlen napfény ér. Mekkora a vízvesztés sebessége (g s^{-1})? *A víz átlagos párolgáshője $40,64 \text{ kJ/mol}$.*

\swarrow teljesítmény

$$\frac{P}{A} = 1200 \text{ W/m}^2$$

$$P = 1200 \text{ W/m}^2 \cdot 50 \text{ m}^2 = 60000 \text{ W}$$
$$(\text{=} 60000 \text{ J/s})$$

$$v \text{ (vízvesztés sebessége)} = \frac{P \cdot M}{\Delta_{\text{vap}} H} =$$

$$= \frac{60000 \text{ J/s} \cdot 18,018 \text{ g/mol}}{40640 \text{ J/mol}} = \underline{\underline{26,57 \text{ g/s}}}$$

F88. Egy hideg, száraz reggelen a deresedést követően a hőmérséklet $-5,0\text{ }^\circ\text{C}$. A vízgőz parciális nyomása a légkörben 2,00 Torr-ra esett vissza. Szublimál-e a dér? Milyen parciális nyomású vízgőz biztosítaná a dér megmaradását? $0\text{ }^\circ\text{C}$ -on a víz tenziója 610 Pa, párolgáshője 2488 J g^{-1} , olvadáshője pedig $333,3\text{ J g}^{-1}$.

$$\Delta_{\text{sub}}H = (2488\text{ J/g} + 333,3\text{ J/g}) \cdot 18,016\text{ g/mol} =$$
$$= 50828,5408\text{ J/mol}$$

$$T_1 = 273,15\text{ K}$$

$$p_1 = 610\text{ Pa}$$

$$T_2 = 268,15\text{ K}$$

Clausius-Clapeyron egyenlet:

$$\ln \frac{p_2}{p_1} = \frac{\Delta H}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$$

$$\ln \frac{p_2}{610} = \frac{50828,5408}{8,314} \left(\frac{1}{273,15} - \frac{1}{268,15} \right)$$

$$p_2 = 401,87\text{ Pa} = \underline{\underline{3,014\text{ Torr}}} > 2\text{ Torr}$$



Szublimál a dér.

F89. Mennyivel változik a benzol gőznyomása, ha 20 °C-on 10 μm, illetve 0,10 μm méretű cseppekké diszpergáljuk? A benzol sűrűsége 0,879 g cm⁻³, felületi feszültsége pedig 2,9·10⁻² N m⁻¹.

Kelvin-egyenlet: $p = p^* \cdot e^{\frac{2\sigma V_m}{RT r}}$

$$V_m(\text{benzol}) = \frac{78 \text{ g/mol}}{0,879 \text{ g/cm}^3} = 88,7372 \text{ cm}^3/\text{mol} =$$

$$= 8,87372 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{mol}$$

$$T = 293,15 \text{ K}$$

$$r_1 = 10 \mu\text{m} = 10^{-5} \text{ m}$$

$$r_2 = 0,10 \mu\text{m} = 10^{-7} \text{ m}$$

$$p_1 = \underline{\underline{1,0002 p^*}}$$

$$p_2 = \underline{\underline{1,02134 p^*}}$$

Önellenőrző (igaz/hamis) tesztkérdések

- T69. Az adott folyadék normális forráspontja az a hőmérséklet, amelyen az illető folyadék telített gőznyomása 101325 Pa (1,00 atm). *i*
- T70. A Trouton-szabály szerint a legtöbb folyadék párolgási entrópiája a forrásponton közelítőleg azonos: kb. $85 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$. *i*
- T71. A hármaspont azt a hőmérséklet- és nyomásértéket jelenti, amelyek mellett egy tiszta anyag kémiai potenciálja szilárd, folyékony és gázfázisban azonos. *i*
- T72. A tiszta szilárd anyag olvadáspontjának nyomásfüggését leíró Clapeyron-egyenlet:

$$\frac{dT}{dp} = \frac{\Delta S}{\Delta V}$$
h
$$\frac{dp}{dT} = \frac{\Delta_{fus} H}{T \cdot \Delta V}$$
- T73. A tiszta folyadék telített gőznyomásának hőmérséklet szerinti változását leíró Clausius–Clapeyron-egyenlet: $\frac{d \ln p}{dT} = \frac{\Delta_{vap} H}{RT^2}$. *i*
- T74. Az r sugarú csepp feletti gőznyomásra vonatkozó Kelvin-egyenlet: $p = p^* e^{\frac{2\gamma V_m}{RT r}}$. *üreg* *h*
- T75. Egy anyag fázisdiagramja megadja azokat a hőmérséklet- és nyomástartományokat, amelyeknél a fázisok termodinamikailag stabilak.
- T76. Az 1 bar (10^5 Pa) nyomáshoz tartozó olvadási hőmérsékletet normális olvadáspontnak nevezzük. *h* *standard*
- T77. A hármaspont jelenti a legalacsonyabb nyomást, amelynél folyadékfázis még létezhet. *i*
- T78. A párolgás, fagyás, olvadás, oldódás és lecsapódás mind példa a fázisváltozásra. *Oldódás nem!* *h*