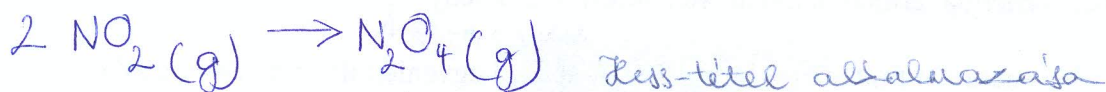


A termodinamika II. és III. főtétele

- F49. Számítsa ki a környezet entrópiaváltozását, ha standard körülmények között 1,00 mol $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$ keletkezik 2,00 mol $\text{NO}_2(\text{g})$ -ból ($T = T' = T^\circ$). Standard képződéshő értékek: $\Delta_r H^\circ(\text{N}_2\text{O}_4, \text{g}) = 9,16 \cdot 10^3 \text{ J mol}^{-1}$, $\Delta_r H^\circ(\text{NO}_2, \text{g}) = 3,318 \cdot 10^4 \text{ J mol}^{-1}$.



$$\Delta_r H^\circ = \Delta_f H^\circ(\text{N}_2\text{O}_4) - 2 \cdot \Delta_f H^\circ(\text{NO}_2) = -57,2 \text{ kJ}$$

$$\Delta S_{\text{környezet}} = -\frac{q}{T} = -\frac{\Delta H^\circ}{T} = -\frac{-57200 \text{ J}}{298,15 \text{ K}} = \underline{\underline{191,85 \text{ J/K}}}$$

F50. Számolja ki 1,00 mol tökéletes gáz, a környezet és a (gáz + környezet) entrópiaváltozását, ha a gázt térfogatát megkétszerezjük

a) izoterm reverzibilis,

b) izoterm irreverzibilis vagy

c) adiabatikus reverzibilis expanzióval.

$$\frac{V_2}{V_1} = 2$$

$$\begin{aligned} \text{a) } \Delta S_{\text{rendszer}} &= nR \ln \frac{V_2}{V_1} = \underline{5,76 \text{ J/K}} \quad \text{mivel } \Delta S_{\text{rendszer}} = \frac{q}{T} \\ \Delta S_{\text{környezet}} &= -nR \ln \frac{V_2}{V_1} = \underline{-5,76 \text{ J/K}} \\ \Delta S_{\text{total}} &= \underline{0 \text{ J/K}} \quad (\text{mert reverzibilis folyamatról van szó}) \end{aligned}$$

$$\text{b) } \Delta S_{\text{rendszer}} = nR \ln \frac{V_2}{V_1} = \underline{5,76 \text{ J/K}} \quad (\Delta S \text{ állapotfüggvény!})$$

Ha $p = 0$ Pa nyomással kényszerben terjed le:

$$\Delta S_{\text{környezet}} = \underline{0 \text{ J/K}} \quad (\text{A "semmi" nem lehet rendezetlenebb.})$$

$$\Delta S_{\text{total}} = \underline{5,76 \text{ J/K}}$$

Ha $p_2 = \frac{p_1}{2}$ nyomás ellenében terjed le:

$$W = -q = -p_{\text{ex}} \cdot \Delta V = -\frac{p_1}{2} (2V_1 - V_1) = -\frac{p_1 V_1}{2} = -\frac{nRT}{2}$$

$$\Delta S_{\text{környezet}} = -\frac{q}{T} = -\frac{nR}{2} = \underline{-4,18 \text{ J/K}}$$

$$\Delta S_{\text{total}} = \underline{1,60 \text{ J/K}}$$

c) $q = 0 \text{ J/mol}$ (mivel adiabatikus)

$$\Delta S_{\text{rendszer}} = \underline{0 \text{ J/K}}$$

$$\Delta S_{\text{környezet}} = \underline{0 \text{ J/K}}$$

$$\Delta S_{\text{total}} = \underline{0 \text{ J/K}} \quad (\text{mivel reverzibilis})$$

- F51. 1,00 mol CO_2 -t légköri nyomáson 0°C hőmérsékletről 1000°C -ra melegítünk. A CO_2 izobár moláris hőkapacitása: $C_p = (28,8 + 3,59 \cdot 10^{-2} T - 1,04 \cdot 10^{-5} T^2) \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$. Számolja ki a szén-dioxid entrópiaváltozását.

$$dS = \frac{dq_{\text{reverzibilis}}}{T} \text{ és } dq_{\text{reverzibilis}} = c_p \cdot dT$$

$$\Delta S = \int_{T_1}^{T_2} \frac{c_p dT}{T} = \int_{T_1}^{T_2} \left(\frac{28,8}{T} + 0,0359 - 1,04 \cdot 10^{-5} T \right) dT =$$

$$= 28,8 \ln \frac{T_2}{T_1} + 0,0359 (T_2 - T_1) - \frac{1,04 \cdot 10^{-5}}{2} (T_2^2 - T_1^2) =$$

$$= 28,8 \ln \frac{1273,15}{273,15} + 0,0359 \cdot 1000 - \frac{1,04 \cdot 10^{-5}}{2} (1273,15^2 - 273,15^2) =$$

$$= 44,33 + 35,9 - 8,04 = \underline{\underline{72,19 \text{ J/K}}}$$

- F52. Számítsa ki a környezet entrópiaváltozását, ha 1,00 mol $\text{H}_2\text{O}(l)$ keletkezik elemeiből standard körülmények között 298,15 K-en. $\Delta_f H^\circ(\text{H}_2\text{O}, l) = -285,8 \text{ kJ mol}^{-1}$. Fogalmazzon meg egy általános megállapítást arra vonatkozóan, hogy miként változik a környezet entrópiája exoterm és endoterm folyamatok esetén.

Allandó nyomáson $q = \Delta H$

$$\Delta S_{\text{környezet}} = -\frac{q}{T} = -\frac{\Delta_f H^\circ(\text{H}_2\text{O}, l)}{T} = \frac{285800 \text{ J}}{298,15 \text{ K}} =$$
$$= \underline{\underline{958,6 \text{ J/K}}}$$

$\Delta S_{\text{környezet}}$ exoterm reakciónál pozitív, endoterm reakciónál pedig negatív.

Az exoterm reakció a környezet számára jelent hőfelvételt, a rendszer környezetéből hőleadást jelent, így ΔH negatív exoterm reakciónál.

F53. 2,00 mol $-40\text{ }^\circ\text{C}$ hőmérsékletű cseppfolyós ammóniát 1,00 bar nyomáson $200\text{ }^\circ\text{C}$ hőmérsékletű gázalmazállapotú ammóniává alakítunk. Számolja ki az entrópiaváltozást a következő adatokból: $C_p(\text{NH}_3, \text{g}) = (33,66 + 2,93 \cdot 10^{-3} T + 2,14 \cdot 10^{-4} T^2) \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$; $C_p(\text{NH}_3, \text{l}) = 75,2 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$; $\Delta_b H(T_b = 239,7 \text{ K}) = 23,4 \text{ kJ mol}^{-1}$.

2 mol $\text{NH}_3(\text{l})$
 $-40\text{ }^\circ\text{C} = 233,15 \text{ K}$
 1 bar

$$\Delta S_1 = C_p(\text{NH}_3, \text{l}) \cdot n \cdot \ln \frac{T_2}{T_1} = 75,2 \cdot 2 \cdot \ln \frac{239,7}{233,15} = 41,167 \text{ J/K}$$

2 mol $\text{NH}_3(\text{l})$
 $+239,7 \text{ K}$
 1 bar

$$\Delta S_2 = \frac{\Delta_b H(T_b) \cdot n}{T} = \frac{23400 \cdot 2}{239,7} = 195,244 \text{ J/K}$$

2 mol $\text{NH}_3(\text{g})$
 $239,7 \text{ K}$
 1 bar

$$\Delta S_3 = n \cdot \int_{T_1}^{T_2} \frac{C_p dT}{T} = 2 \cdot \int_{T_1}^{T_2} \left(\frac{33,66}{T} + 0,00293 + 2,14 \cdot 10^{-4} T \right) dT$$

$$= 2 \left(33,66 \ln \frac{T_2}{T_1} + 0,00293 (T_2 - T_1) + \frac{2,14 \cdot 10^{-4}}{2} (T_2^2 - T_1^2) \right) = 82,767 \text{ J/K}$$

2 mol $\text{NH}_3(\text{g})$
 $473,15 \text{ K}$
 1 bar

Tehát a teljes, 3 lépésre bontható folyamatra

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 + \Delta S_3 = \underline{\underline{282,17 \text{ J/K}}}$$

F54. Egy $20,0 \text{ dm}^3$ térfogatú, $1,013 \text{ bar}$ nyomású és 200°C hőmérsékletű tökéletes gáz $0,1013 \text{ bar}$ külső nyomáson irreverzibilis folyamatban a nyomások kiegyenlítéséig adiabatikusan kiterjed. Számítsa ki a gáz, a környezet és a (gáz + környezet) entrópia-változását. Válasszon különböző reverzibilis utakat, és számítással igazolja, hogy az entrópia állapotfüggvény. Az állandó térfogaton mért mólhő $20,92 \text{ mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

Tökéletes gázra $\Delta U = n \cdot c_v \cdot \Delta T = n c_v (T_2 - T_1) = -p_{\text{ex}} \Delta V = -p_2 (V_2 - V_1)$
 Adiabatikus folyamat: $q = 0 \text{ J}$, azaz $\Delta S' = 0 \text{ J/K}$

$$n c_v T_2 - n c_v T_1 = -p_2 V_2 + p_2 V_1$$

$$\frac{p_2 V_2}{T_2} = \frac{p_2 V_1 - n c_v T_2 + n c_v T_1}{T_2} \text{ ugyanahhoz } \frac{p_2 V_2}{T_2} = \frac{p_1 V_1}{T_1}$$

$$\text{és } n = \frac{p_1 V_1}{R T_1} = \frac{101300 \cdot 0,02}{8,314 \cdot 473,15} = \underline{0,515 \text{ mol}}$$

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_1 - n c_v (T_2 - T_1)}{T_2}$$

$$\frac{101300 \cdot 0,02}{473,15} = \frac{10130 \cdot 0,02 - 0,515 \cdot 20,92 (T_2 - 473,15)}{T_2}$$

$$T_2 = \underline{352,0 \text{ K}}$$

$$V_2 = \frac{n R T_2}{p_2} = \frac{0,515 \cdot 8,314 \cdot 352}{10130} = \underline{0,148 \text{ m}^3}$$

A gáz izochor (V_1 térfogaton tartandó) lehűlése T_2 -re, majd izoterm (T_2) kitegyezés V_2 -re:

$$\Delta S = n c_v \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} + n R \ln \frac{V_2}{V_1} = n c_v \ln \frac{T_2}{T_1} + n R \ln \frac{V_2}{V_1} = \underline{5,38 \text{ J/K}}$$

Izobar (p_1 nyomáson tartandó) lehűlés T_2 hőmérsékletre (ekkor a térfogat V_1'), majd izoterm kitegyezés V_2 -re:

$$V_1' = \frac{n R T_2}{p_1} = 0,0148 \text{ m}^3$$

$$\Delta S = n c_p \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} + n R \ln \frac{V_2}{V_1'} = n (c_v + R) \ln \frac{T_2}{T_1} + n R \ln \frac{V_2}{V_1'} = \underline{5,38 \text{ J/K}}$$

F55. Tételezzük fel, hogy egy belsőégésű motor oktánnal ($M = 114,2 \text{ g mol}^{-1}$) működik, melynek égési entalpiája $-5512 \text{ kJ mol}^{-1}$. Mi az a maximális magasság, ameddig egy 1000 kg tömegű autó $3,0 \text{ kg}$ üzemanyag elégetésével eljuthat, ha a motor hengerének a hőmérséklete $2000 \text{ }^\circ\text{C}$, a kilépő gázok hőmérséklete pedig $800 \text{ }^\circ\text{C}$?

$$m_{\text{okt.}} = 3 \text{ kg} = 3000 \text{ g}$$

$$n_{\text{okt.}} = \frac{m_{\text{okt.}}}{M} = \frac{3000 \text{ g}}{114,2 \text{ g/mol}} = 26,27 \text{ mol}$$

$$\Delta H = \Delta H_{\text{reakció}} \cdot n_{\text{okt.}} = -5512000 \text{ J/mol} \cdot 26,27 \text{ mol} =$$

$$= -1447986 \cdot 10^3 \text{ J}$$

Maximális hatásfok:

$$\eta = \frac{T_h - T_c}{T_h} = \frac{1200}{2273} = 0,528$$

Maximális hasznos munka:

$$W = \eta \cdot \Delta H = 7,64445 \cdot 10^7 \text{ J}$$

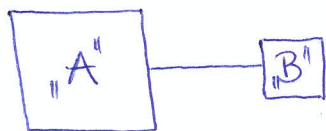
$$W = m \cdot g \cdot h$$

\uparrow (kg) \uparrow 9,81 m/s² \nwarrow (m)

$$7,64445 \cdot 10^7 \text{ J} = 1000 \cdot 9,81 \cdot h$$

$$\underline{\underline{h = 7792,5 \text{ m}}}$$

- F56. Egy gáztartályban 4,00 mol nitrogén (A), egy másikban 1,00 mol oxigén (B) van. A gázok hőmérséklete és nyomása azonos. Kössük össze a két tartályt egy vékony csővel. Mekkora az entrópia változása a gázok összekeveredése során? Mindkét gázt tökéletes gáznak tekintjük.



$$\Delta S = nR \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$\Delta S_A = 4 \cdot R \cdot \ln \frac{5}{4} = 7,42 \text{ J/K}$$

$$\Delta S_B = 1 \cdot R \cdot \ln \frac{5}{1} = 13,38 \text{ J/K}$$

$$\Delta S_{\text{mix}} = \Delta S_A + \Delta S_B = \underline{\underline{20,80 \text{ J/K}}}$$

- F57. Számítsa ki, mekkora egy 20 °C-os szobában reverzibilisen működő Carnot-hűtőgép munkája, amikor 250 g mennyiségű, 0,0 °C-os vizet megfagyasztunk. Mennyi idő szükséges ehhez egy 100 W teljesítményű reverzibilisen működő Carnot-hűtőgéppel? A víz olvadáshője: 6,008 kJ mol⁻¹.

$$n_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{250 \text{ g}}{18 \text{ g/mol}} = 13,8 \text{ mol}$$

Elvonandó hő: $Q_{\text{E}} = 6008 \cdot 10^3 \text{ J/mol} \cdot 13,8 \text{ mol} = 83,4 \cdot 10^3 \text{ J}$

$$W_{\text{hűtés}} = \frac{T_{\text{h}} - T_{\text{e}}}{T_{\text{e}}} Q_{\text{E}} = \frac{20}{273,15} \cdot 8,34 \cdot 10^4 = 6109,789 \text{ J}$$

teljesítmény, W

$$P = \frac{W}{\Delta t}$$

$$\Delta t = \frac{W}{P} = \frac{6109,789 \text{ J}}{100 \text{ W}} = 61,09789 \text{ s} = \underline{\underline{61,1 \text{ s}}}$$

F58. A 100 kbar nyomáson és 2000 K hőmérsékleten lejátszódó grafit \rightarrow gyémánt fázisátalakulás entalpiája $1,9 \text{ kJ mol}^{-1}$. Számítsa ki a fázisátalakulás entrópiaváltozását.

$$\Delta S = \frac{q_{\text{rev}}}{T} = \frac{1900 \text{ J/mol}}{2000 \text{ K}} = 0,95 \text{ J/(mol}\cdot\text{K)}$$

- F59. 2,00 mol 12,0 dm³ térfogatú és 293,15 K hőmérsékletű tökéletes gáz nyomását állandó hőmérsékleten kétszeresére növeljük. Mekkora változik a tökéletes gáz, a környezet entrópiája és a (rendszer + környezet) entrópiája
- reverzibilis folyamat esetén,
 - irreverzibilis folyamat esetén, amikor az összenyomás a végső nyomással azonos, állandó külső nyomás ellenében történik?

a) izoterm reverzibilis összenyomás

$$\Delta S = nR \ln \frac{V_2}{V_1} = 2 \cdot 8,314 \cdot \ln 0,5 = \underline{\underline{-11,53 \text{ J/K}}}$$

$$\Delta S' = -\Delta S = \underline{\underline{+11,53 \text{ J/K}}} \quad (\text{mert reverzibilis})$$

$$\Delta S_{\text{total}} = \underline{\underline{0 \text{ J/K}}} \quad (\text{reverzibilis})$$

b) izoterm irreverzibilis összenyomás

$$\Delta S = nR \ln \frac{V_2}{V_1} = \underline{\underline{-11,53 \text{ J/K}}} \quad (\Delta S \text{ állapotfüggvény})$$

$p_2 = 2 p_1$ nyomás nyoma erre

$$W = -q = -p_{\text{ext}}(V_2 - V_1) = -2p_1 \left(\frac{V_1}{2} - V_1 \right) = p_1 V_1 = nRT$$

$$\Delta S' = -\frac{q}{T} = nR = \underline{\underline{16,628 \text{ J/K}}}$$

$$\Delta S_{\text{total}} = \underline{\underline{5,098 \text{ J/K}}}$$

- F60. Egy izolált rendszerben összekeverünk 1000 g 20 °C-os és 2000 g 50 °C-os vizet. Számolja ki az entrópiaváltozást, és ez alapján állapítsa meg, hogy ilyen körülmények között önként végbemegy-e a keveredés. A víz állandó nyomáson mért fajhője $4,2 \text{ J g}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

$$\begin{array}{l}
 1000 \text{ g } 20^\circ\text{C} \rightarrow \\
 2000 \text{ g } 50^\circ\text{C} \rightarrow
 \end{array}
 \rightarrow 3000 \text{ g}$$

$$T_{\text{keverés}} = \frac{(1000 \text{ g} \cdot 20^\circ\text{C}) + (2000 \text{ g} \cdot 50^\circ\text{C})}{3000 \text{ g}} =$$

$$= 40^\circ\text{C} = 313,15 \text{ K}$$

Mindenny, hogy K-ben vagy °C-ban kalkulálni, súlyozott átlagot kell megadni.

1000 g víz melegítése 20 °C-ról 40 °C-ra:

$$\Delta S_1 = 1000 \cdot 4,2 \cdot \ln \frac{313,15 \text{ K}}{293,15} = 277,19 \text{ J/K}$$

2000 g víz hűtése 50 °C-ról 40 °C-ra:

$$\Delta S_2 = 2000 \cdot 4,2 \cdot \ln \frac{313,15}{323,15} = -264,05 \text{ J/K}$$

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 = \underline{\underline{13,14 \text{ J/K}}}$$

- F61. Mekkora az entrópia összes változása, ha 100 g 300 °C-ra melegített vasat 1000 g 15 °C hőmérsékletű vízbe merítünk és megvárjuk a termikus egyensúly beállását? A vas-víz rendszer a környezetétől el van szigetelve. A vas fajhője $0,460 \text{ J g}^{-1} \text{ K}^{-1}$, a vízé $4,184 \text{ J g}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

A vas által leadott hő megegyezik a víz által felvett hővel:

$$\underbrace{1000 \cdot (T-15) \cdot 4,184}_{\text{víz}} = - \underbrace{100 \cdot (T-300) \cdot 0,460}_{\text{vas}}$$

A hőmérséklet itt még maradhat °C, mert csak ΔT szerepel az egyenletben.

$$4184T - 62760 = 13800 - 46T$$

$$4230T = 76560$$

$$T = \underline{\underline{18,1 \text{ °C} = 291,25 \text{ K}}}$$

Enyi lesz a közös hőmérséklet

$$\Delta S_{\text{vas}} = 100 \cdot 0,460 \cdot \ln \frac{291,25}{573,15} = -311 \text{ J/K}$$

Itt valóban ΔS -ben kell negatív lenni!

$$\Delta S_{\text{víz}} = 1000 \cdot 4,184 \cdot \ln \frac{291,25}{288,15} = 441,8 \text{ J/K}$$

$$\Delta S = \Delta S_{\text{vas}} + \Delta S_{\text{víz}} = \underline{\underline{131 \text{ J/K}}}$$

- F62. Számítsa ki a standard reakcióentrópiát T° hőmérsékleten a $\text{H}_2(\text{g}) + 0,5 \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ reakcióra, ha ismertek a következő standard entrópiák: $S_m^\circ(\text{H}_2\text{O}, \text{l}) = 69,9 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$, $S_m^\circ(\text{H}_2, \text{g}) = 130,7 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$, illetve $S_m^\circ(\text{O}_2, \text{g}) = 205,1 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$. Értelmezze az eredményt.

$$\begin{aligned}\Delta_r S &= S_m^\circ(\text{H}_2\text{O}, \text{l}) - S_m^\circ(\text{H}_2, \text{g}) - 0,5 \cdot S_m^\circ(\text{O}_2, \text{g}) = \\ &= \underline{\underline{-163,35 \text{ J/(mol}\cdot\text{K)}}}\end{aligned}$$

Gázból folyadék lépődik



rendszertől elk



$\Delta_r S$ negatív

F63. Spontán folyamat-e a vas oxidációja $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s})$ -dá szobahőmérsékleten? A korróziós folyamatot $-824,2 \text{ kJ mol}^{-1}$ entalpiaváltozás és $-272 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ entrópiaváltozás kíséri.

$$\Delta H = -824,2 \text{ kJ/mol} = -824200 \text{ J/mol}$$

$$\Delta S = -272 \text{ J/(mol}\cdot\text{K)}$$

$$T = 25^\circ\text{C} = 298,15 \text{ K}$$

$$\Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S = -743103,2 \text{ J/mol} \approx -743,1 \text{ kJ/mol}$$

Ez negatív érték, tehát a folyamat spontan végbemeleg.

Azoknak ellenére, hogy ΔS negatív! Ez ugyanis itt azt a rendkore vonatkozik, a környezet-ről nem tudunk semmit, és a t.d. II főtétele csak izolált rendkore érvényes.

- F64. Számítsa ki egy 100 °C-os gőzzel és 60 °C-os kondenzvízzel üzemelő kezdetleges gőzgép Carnot-hatásfokát. Ismétlje meg a számítást egy modern gőzturbinára is, amelyik 300 °C-os gőzzel és 80 °C-os kondenzvízzel üzemel.

$$\eta = 1 - \frac{T_c}{T_h} = \frac{T_h - T_c}{T_h}$$

Kezdetleges: $T_h = 373,15 \text{ K}$
 $T_c = 333,15 \text{ K}$ $\eta = 0,107 = \underline{\underline{10,7\%}}$

Modern: $T_h = 573,15 \text{ K}$
 $T_c = 353,15 \text{ K}$ $\eta = 0,384 = \underline{\underline{38,4\%}}$

Önellenőrző (igaz/hamis) tesztkérdések

- T41. Zárt rendszerben lejátszódó, spontán (valóságos) folyamatban a rendszer entrópiája növekszik. *h*
- T42. Az egyensúlyi állapot az izolált rendszer ^{egyensúlyi} legrendezettebb állapota. *h*
- T43. Irreverzibilis folyamat esetén $\Delta S_{\text{tot}} > 0$. *i*
- T44. A környezet entrópiaváltozása $dS' = \frac{dq'}{T'}$. *i*
- T45. A rendszer entrópiaváltozása: $dS = \frac{dq_{\text{rev}}}{T}$. *h*
- T46. Az entrópia állapotfüggvény. *i*
- T47. A termodinamika II. főtétele szerint nem valósítható meg olyan ciklikus folyamat, amelynek során egy hőtartályból elvont hőt teljes egészében munkává tudnánk alakítani. *i*
- T48. Az entrópia energia jellegű fizikai mennyiség, mértékegysége J K^{-1} . *h*
- T49. Tetszőleges folyamat esetén $\Delta S_{\text{tot}} \geq 0$. *i*
- T50. A Clausius-féle egyenlőtlenség: $dS_{\text{tot}} \geq 0$. *h*
- T51. A Joule-kísérletben $\Delta S(\text{gáz}) = 0$. *h*
- T52. Tökéletes gáz entrópiaváltozása izoterm reverzibilis kiterjedéskor: $\Delta S = nR \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$. *i*
- T53. A Carnot-hatásfok $\eta = 1 - \frac{T_h}{T_c}$. *h*
- T54. Az ugyanazon hőmérsékleti határok között dolgozó hőerőgépek hatásfoka nem lehet nagyobb, mint a reverzibilis Carnot-gépé. *i*
- T55. A hűtőgép teljesítménytényezője: $c^o = \frac{T_h - T_c}{T_c}$. *i*
- T56. A Clausius-féle egyenlőtlenség: $dS \geq \frac{dq}{T}$. *i*
- T57. Tökéletes gáz adiabatikus reverzibilis kiterjedéskor: $\Delta S(\text{gáz}) = 0$. *i*
- T58. A termodinamika harmadik főtétele szerint a tökéletesen kristályos anyagok (a vegyületeket és elegyeket is beleértve) entrópiáját $T = 0 \text{ K}$ -en nullának tekintjük. *i*