

## Příklady k zápočtu – molekulová fyzika a termodynamika

1. Do vody o teplotě  $t_1 = 70^\circ\text{C}$  a hmotnosti  $m_1 = 1 \text{ kg}$  vhodíme kostku ledu o teplotě  $t_2 = -10^\circ\text{C}$  a hmotnosti  $m_2 = 2 \text{ kg}$ . Do soustavy vzápětí přilijeme další vodu o teplotě  $t_3 = 40^\circ\text{C}$  a hmotnosti  $m_3 = 1 \text{ kg}$ . Stanovte, v jakém stavu se bude soustava nacházet po dosažení termodynamické rovnováhy. Měrná tepelná kapacita vody je  $c_v = 4180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ , měrná tepelná kapacita ledu  $c_l = 2100 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  a měrné skupenské teplo tání pro fázový přechod led-voda poté  $l_t = 334 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Celý proces probíhá za normálního atmosférického tlaku  $101\,325 \text{ Pa}$ .

2. Za teploty  $t_1 = 0^\circ\text{C}$  má předmět ze železa tvar krychle s délkou hrany  $a = 0,2 \text{ m}$  a předmět ze zinku tvar kvádrů s délkou dvou hran rovněž  $a = 0,2 \text{ m}$  a délkou třetí hrany  $b = 0,199 \text{ m}$ . Stanovte, za jaké teploty  $t_r$  budou mít obě dvě tělesa stejný objem. Koeficienty délkové roztažnosti jsou u železa  $\alpha_{Fe} = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$  a u zinku  $\alpha_{Zn} = 2,9 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ .

3. Můžeme změřit zvětšení průměru mosazného válečku způsobené zahříváním teploty  $t_0 = 5^\circ\text{C}$  na teplotu  $t_1 = 35^\circ\text{C}$  mikrometrem, který měří s přesností na  $0,01 \text{ mm}$ ? Při teplotě  $t_0 = 5^\circ\text{C}$  byl průměr válečku  $d_0 = 20,45 \text{ mm}$ . Koeficient teplotní roztažnosti mosazi je  $\alpha = 18,7 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ .

6. Za velmi nízkých teplot se molární tepelná kapacita chloridu sodného mění s teplotou podle tzv.

Debyeova zákona ve tvaru  $C = \frac{k \cdot T^3}{\theta^3}$ , kde  $\theta = 281 \text{ K}$ ,  $k = 1948,8 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ . Spočtete:

- jaké teplo  $Q$  je zapotřebí k ohřátí  $n = 2$  molů  $\text{NaCl}$  z teploty  $T_1 = 10 \text{ K}$  na teplotu  $T_2 = 50 \text{ K}$ ,
- průměrnou kapacitu  $C_{pr}$  v teplotním intervalu  $T_1$  až  $T_2$ ,
- kapacitu  $C_1$  při teplotě  $T_2$ .

5. Ocelový hřebík o hmotnosti  $m = 50 \text{ g}$  byl zaražen do prkna  $n = 20$  údery kladiva. Hmotnost kladiva byla  $m_k = 0,5 \text{ kg}$  a jeho dopadová rychlost  $v = 12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Ráz považujeme za dokonale nepružný. Jaké je zvětšení teploty hřebíku  $\Delta T$ , přijal-li  $\eta = 70\%$  tepla vzniklého při dopadech kladiva? Měrná tepelná kapacita oceli je  $c_o = 482 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ .

6. Jaký výkon  $P$  potřebujeme vyvinout, chceme-li za čas  $t = 1$  hodina přeměnit  $m = 80 \text{ kg}$  ledu teploty  $t_1 = -20^\circ\text{C}$  v páru o teplotě  $t_2 = 100^\circ\text{C}$ . Měrná tepelná kapacita ledu je  $c_l = 2100 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ , měrná tepelná kapacita vody  $c_v = 4180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ , měrné skupenské teplo tání ledu  $l_t = 334 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$  a měrné skupenské teplo vypařování vody  $l_v = 2256 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

7. Ocelový předmět o hmotnosti  $m_1 = 0,9 \text{ kg}$  a teplotě  $t_1 = 300^\circ\text{C}$  byl vložen do vody o hmotnosti  $m_2 = 2,5 \text{ kg}$  a teplotě  $t_2 = 15^\circ\text{C}$ . Jaká je výsledná teplota předmětu a vody  $t_v$  po dosažení rovnovážného stavu? Měrná tepelná kapacita oceli je  $c_o = 452 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ , měrná tepelná kapacita vody poté  $c_v = 4180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ .

8. V nádobě je  $m_1 = 420 \text{ g}$  vody o teplotě  $T_1 = 293,15 \text{ K}$ . Když do nádoby přilijeme ještě  $m_2 = 900 \text{ g}$  vody o teplotě  $T_2 = 343,15 \text{ K}$ , zjistíme, že teplota po ustálení v rovnovážném stavu je  $t_v = 50^\circ\text{C}$  (tj.  $T_v = 323,15 \text{ K}$ ). Jaká je tepelná kapacita nádoby  $C_n$ ? Měrná tepelná kapacita vody je  $c_v = 4180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ .

9. V nádobě je voda o hmotnosti  $m_1 = 3 \text{ kg}$  a teplotě  $t_1 = 10^\circ\text{C}$ . Vodu o jaké hmotnosti  $m_2$  a teplotě  $t_2 = 90^\circ\text{C}$  musíme přilít, aby výsledná teplota v nádobě byla  $t_v = 35^\circ\text{C}$ ? Tepelnou kapacitu nádoby zanedbejte.

10. Určete účinnost  $\eta$  skutečného kruhového děje skládajícího se z izotermické expanze při teplotě  $T_1 = 700 \text{ K}$ , izochorického ochlazení, izotermické komprese při teplotě  $T_2 = 400 \text{ K}$  a následného izochorického ohřátí na počáteční teplotu  $T_1 = 700 \text{ K}$ . Měrná tepelná kapacita pracovního plynu při stálém objemu je  $C_V = 6,5 \cdot R$ , látkové množství tohoto plynu poté  $n = 1 \text{ mol}$ . Víte, že při izotermické kompresi se plyn stlačil na polovinu svého předchozího objemu ( $V_2 = 2 \cdot V_1$ ). Celý cyklus znázorněte graficky a spočtenou skutečnou účinnost srovnajte s účinností  $\eta_{id}$ , kterou by měl při práci mezi danými teplotami ideální Carnotův cyklus.

11. Určete změnu volné entalpie  $\Delta G$  dusíku o hmotnosti  $m = 100 \text{ g}$ , jestliže byl plyn při teplotě  $T = 300 \text{ K}$  izotermicky stlačen z počátečního objemu  $V_1$  na koncový  $V_2 = \frac{3}{4} \cdot V_1$ . Molární hmotnost dusíku je  $M_m = 0,028 \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

12. Určete práci  $W$  vykonanou plynem řídícím se van der Waalsovou rovnicí s konstantami  $a = 0,137 \text{ J} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-2}$ ,  $b = 38,7 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$  při jeho izotermickém rozepnutí z objemu  $V_1 = 10 \text{ l}$  na objem  $V_2 = 5 \cdot V_1$ . Počáteční tlak plynu byl  $p = 300 \text{ kPa}$ , jeho látkové množství pak  $n = 1 \text{ mol}$ .

13. Spočtete, při jaké teplotě  $T_v$  bude vřít voda při vnějším tlaku  $p_v = 400 \text{ kPa}$ . Za normálního atmosférického tlaku  $p_0 = 101\,325 \text{ Pa}$  je teplota varu  $T_0 = 373,15 \text{ K}$  (tj. klasicky  $t_0 = 100^\circ\text{C}$ ). Měrné skupenské teplo vypařování u vody je  $l_v = 2256 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Hustota vody v kapalném skupenství při dané teplotě je  $\rho_v = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ . Hustotu vodních par pokládejte za konstantně rovnou hodnotě  $\rho_p = 0,8 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .

14. Vzduchoplavecký balon naplněný héliem vystoupil z místa, kde byla teplota  $T_1 = 290 \text{ K}$  a tlak  $p_1 = 98,5 \text{ kPa}$  do výšky, kde byla teplota  $T_2 = 260 \text{ K}$  a tlak  $p_2 = 86,5 \text{ kPa}$ . Jak velký byl objem balonu  $V_2$  ve výši, jestliže na počátku byl objem  $V_1 = 950 \text{ m}^3$  ?
15. Plyn zaujímá při tlaku  $p_1 = 0,1 \text{ MPa}$  a teplotě  $T_1 = 293 \text{ K}$  objem  $V_1 = 830 \text{ l}$ . Na jeho stlačení vynaložíme práci  $W = 166,8 \text{ kJ}$ . Určete výsledné hodnoty tlaku  $p_2$ , objemu  $V_2$  a teploty  $T_2$ . Poissonova konstanta pro příslušný děj probíhající za tepelné izolace je  $\kappa = 1,25$ .
16. Izobarickým dějem zvýšil  $n = 1$  mol hélia (ideální plyn) svoji teplotu z  $T_1 = 273 \text{ K}$  na  $T_2 = 373 \text{ K}$ . Jakou práci  $W$  přitom vykonal a jaké teplo  $Q$  přitom přijal?
17. Kolik tepla  $Q$  musíme dodat heliu o objemu  $V = 31$ , aby při stálém tlaku  $p = 0,2 \text{ MPa}$  zvětšilo svůj objem na dvojnásobný ( $V_2 = 2 \cdot V_1$ ).
18. Vodík je dvouatomový plyn, jehož  $C_V = \frac{5}{2} \cdot R$ . Vyplňuje objem  $V_1 = 100 \text{ cm}^3$  při tlaku  $p_1 = 51 \text{ kPa}$ . Určete práci, kterou tento plyn vykoná, expanduje-li na objem  $V_2 = 5 \cdot V_1$ .  
a) izotermicky  
b) adiabaticky
19. Oxid uhličitý je uchováván v ocelové láhvi o objemu  $V = 22 \text{ l}$  při teplotě  $T_1 = 290 \text{ K}$  a tlaku  $p_1 = 2 \text{ MPa}$ . Odhadněte jeho výslednou teplotu  $T_2$ , rozeprve-li se uvedený plyn po otevření kohoutku na tlak atmosférický  $p_2 = 101325 \text{ Pa}$ . Polytropický koeficient proběhlého děje je  $\eta = 1,293$ .
20. Určete měrné tepelné kapacity  $c_v$  a  $c_p$  neznámého plynu, víte-li, že při teplotě  $T = 293 \text{ K}$  a tlaku  $p = 100 \text{ kPa}$  je jeho hustota  $\rho = 1,27 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  a Poissonova konstanta plynu je  $\kappa = 1,4$ . Univerzální plynová konstanta je  $R = 8,31$
21. Kolik tepla  $Q$  je nutné odebrat  $m = 56 \text{ g}$  dusíku, abychom ho při teplotě  $T = 300 \text{ K}$  izotermicky stlačili z tlaku  $p_1 = 100 \text{ kPa}$  na tlak  $p_2 = 500 \text{ kPa}$  ? Molární hmotnost dusíku je  $M_m = 28 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .
22. Píst ve válci stroje se posunul o délku  $\Delta l = 10 \text{ cm}$ , čímž se tlak ve válci zvětšil z  $p_1$  na  $p_2 = 5 \cdot p_1$ . Celý děj probíhal adiabaticky. Určete počáteční objem vzduchu  $V_1$  ve válci, je-li plocha pístu  $S = 30 \text{ cm}^2$ . Poissonova konstanta daného plynu je  $\kappa = 1,4$ .
23. Kolik tepla  $Q$  musíme odebrat, chceme-li stlačit  $V_1 = 51$  vzduchu normálního tlaku  $p_1 = 101325 \text{ Pa}$  na objem  $V_2 = 11$  a udržovat přitom konstantní teplotu.

24. Vzduch o objemu  $V_1 = 10 \text{ l}$ , teplotě  $T_1 = 273 \text{ K}$  a tlaku  $p_1 = 100 \text{ kPa}$  nejprve izotermicky stlačíme na objem  $V_2 = \frac{1}{5} \cdot V_1$  a pak adiabaticky rozepneme na dvojnásobek původního objemu  $V_3 = 2 \cdot V_1$ . Jaká bude výsledná teplota  $T_3$  po adiabatické expanzi a jakou práci  $W$  plyn vykonal při celém ději? Poissonova konstanta pro vzduch je  $\kappa = 1,4$ .

25. Původní tlak plynu byl  $p_1 = 100 \text{ kPa}$  a po polytropické kompresi vzrostl na  $p_2 = 8 \cdot p_1$ . Jeho původní objem  $V_1 = 20 \text{ m}^3$  se při tom zmenšil na  $V_2 = \frac{1}{4} \cdot V_1$ . Určete polytropický exponent  $\eta$  práci  $W$ , kterou bylo třeba při stlačení vykonat.

26. V  $p-V$  diagramu nakreslete cyklus 1234 skládající se ze dvou izochor (12,34) a dvou izobar (23,41). Předpokládejte, že počáteční stav je definován veličinami  $p_1, V_1$  a dále, že platí  $p_2 = 2 \cdot p_1, V_3 = 4 \cdot V_1$ . Uvedený cyklus poté překreslete ještě do diagramu  $V-T$ .

27. Ideální plyn přejde ze stavu  $p_1, V_1, T_1$  izotermickou kompresí do stavu  $p_2, V_2, T_2$ , a z něho pak izobarickou expanzí do  $p_3, V_3, T_3$ , z něhož se následně izochorickým dějem vrací do původního stavu. Načrtněte cyklus a určete

- a) při kterém z uvedených dějů soustava koná práci
- b) kdy nastane tepelná výměna s okolím

28. Počáteční objem kyslíku je  $V_1 = 5 \text{ l}$  a jeho tlak  $p_1 = 100 \text{ kPa}$ . Nejdříve jej izobaricky zahřejeme na objem  $V_2 = 2 \cdot V_1$  a následně izochoricky zvýšíme jeho tlak na  $p_3 = 4 \cdot p_1$ . Určete, jakou práci  $W$  plyn vykonal, jaké teplo  $Q$  jsme mu dodali a jak se změnila jeho vnitřní energie  $\Delta U$ .

29. Jak se změní v přiblížení ideálního plynu vnitřní energie  $U$  kyslíku o hmotnosti  $m = 100 \text{ g}$ , který je zahřán z teploty  $t_1 = 10^\circ\text{C}$  na teplotu  $t_2 = 60^\circ\text{C}$ , jestliže proces zahřátí probíhá

- a) při stálém objemu
- b) při stálém tlaku
- c) adiabatickou kompresí

Molární hmotnost kyslíku je  $M_m = 32 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

30. V tropických mořích je voda u povrchu mnohem teplejší než v hloubce. Je myslitelný stroj pracující mezi těmito lázněmi? Pokud ano, jakou odhadujete účinnost, pokud ne – proč?

32. Carnotův stroj pracuje s účinností  $\eta_1 = 40\%$ . Jak se má změnit teplota ohříváče  $T_1$ , aby účinnost vzrostla na  $\eta_2 = 50\%$ ? Teplota chladiče je konstantně  $t_2 = 9^\circ\text{C}$ .

33. Teplota páry přicházející z parního kotle do válce parního stroje je  $t_1 = 120^\circ\text{C}$ , teplota chladiče, v němž pára kondenzuje, je  $t_2 = 40^\circ\text{C}$ . Jak velkou maximální práci  $W$  by stroj vykonal za ideálních podmínek při spotřebě  $Q = 4,2 \text{ kJ}$  tepla?

34. Určete práci  $W$ , kterou musíme dodat chladicímu stroji pracujícímu na principu obráceného Carnotova cyklu, jestliže v prostředí o teplotě  $t_2 = 20^\circ\text{C}$  ( $T_2 = 293,15\text{ K}$ ) chceme zmrazit  $m = 1\text{ kg}$  vody téže teploty na led o teplotě  $t_1 = 0^\circ\text{C}$  ( $T_1 = 273,15\text{ K}$ ). Měrná tepelná kapacita vody je  $c_v = 4180\text{ J} \cdot \text{kg} \cdot \text{K}^{-1}$ , měrné skupenské teplo tání pak  $l_t = 334\text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ .
35. Určete celkovou práci  $W$ , změnu entropie  $\Delta S$  a účinnost  $\eta$  u vratného kruhového děje skládajícího se z izobarické expanze, izochorického ochlazení a izotermické komprese. Srovnajte účinnost tohoto cyklu s účinností ideálního Carnotova cyklu, pracují-li oba mezi teplotami  $T_1 = 300\text{ K}$  a  $T_2 = 1000\text{ K}$ . Předpokládejte, že plyn je dvouatomový, a že jeho látkové množství je  $n = 1\text{ mol}$ .
36. Určete změnu entropie ideálního plynu  $\Delta S$  o teplotě  $t_1 = 20^\circ\text{C}$ , tlaku  $p_1 = 100\text{ kPa}$  a objemu  $V_1 = 2\text{ l}$ , rozpíná-li se do vakua na dvojnásobný objem  $V_2 = 4\text{ l}$ . Uvažujte, že děj probíhá izotermicky.
37. Ideální plyn necháme při tlaku  $p_1 = 40\text{ kPa}$  expandovat z objemu  $V_1 = 15\text{ l}$  na objem  $V_2 = 29,2\text{ l}$ . Expanze probíhá za konstantní teploty  $T_1$ . Stanovte změnu volné energie  $\Delta F$  při tomto ději.
38. Původní objem  $V_1$  dusíku o hmotnosti  $m = 2\text{ g}$  a počáteční teplotě  $t_1 = 27^\circ\text{C}$  byl při stálém tlaku  $p = \text{konst}$  zmenšen na objem  $V_2 = \frac{3}{4} \cdot V_1$ . Určete změnu  $\Delta H$  entalpie plynu. Uvažujte, že měrná tepelná kapacita dusíku je  $c_p = 1042\text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ .
39. Hélium o hmotnosti  $m = 120\text{ g}$  bylo při teplotě  $t_1 = 27^\circ\text{C}$  izotermicky stlačeno. Jeho tlak se přitom zvětšil z počáteční hodnoty  $p_1$  na koncovou  $p_2 = 3 \cdot p_1$ . Určete, jak se při tomto procesu změnila volná entalpie  $\Delta G$  hélia. Molární hmotnost hélia je  $M_m = 4\text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .
40. Vzduch o objemu  $V_1 = 1\text{ m}^3$  a počátečním tlaku  $p_1 = 200\text{ kPa}$  izotermicky expanduje na dvojnásobný objem  $V_2 = 2 \cdot V_1$ . Určete práci  $W$ , kterou plyn při expanzi vykoná, výsledný tlak plynu  $p_2$  a množství přivedeného tepla  $Q$ .
41. Ideální chladicí stroj pracující podle Carnotova cyklu předává teplo z chladiče s vodou o teplotě  $t_1 = 0^\circ\text{C}$  ohřivači obsahujícímu vodu o teplotě  $t_2 = 100^\circ\text{C}$  teplou. Jak velké množství vody  $m_1$  je nutné zmrazit v chladiči, aby se v ohřivači změnila voda o hmotnosti  $m_2 = 1\text{ kg}$  v páru o teplotě stále  $t_2 = 100^\circ\text{C}$ ? Měrné skupenské teplo tání vody je  $l_t = 334\text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ , měrné skupenské teplo vypařování poté  $l_v = 2256\text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ .
42. Z nádoby, v níž je uskladněno hélium pod tlakem  $p_1 = 10\text{ MPa}$ , začne poškozeným ventilem plyn pomalu utíkat, až tlak klesne na hodnotu tlaku atmosférického  $p_2 = 101325\text{ Pa}$ . Celý děj probíhá

izotermicky za pokojové teploty  $t = 20^\circ\text{C}$ . Určete změnu entropie  $\Delta S$  u tohoto ideálního plynu o hmotnosti  $m = 1\text{ kg}$ . Molární hmotnost hélia je  $M_m = 4\text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

43. Kyslík o hmotnosti  $m = 20\text{ g}$  zvětšil při teplotě  $T = 288,15\text{ K}$  izotermicky svůj objem z hodnoty  $V_1$  na hodnotu  $V_2 = 2 \cdot V_1$ . Určete, jaká je změna volné energie  $\Delta F$  kyslíku při tomto ději. Předpokládejte, že kyslík se chová jako ideální plyn, a že uvažovaný děj je kvazistatický (je možné pro něj použít zákony rovnovážné termodynamiky). Molární hmotnost kyslíku je  $M_m = 32\text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

44. V nádobě tvaru válce je pístem o hmotnosti  $m$  a plošném obsahu  $S$  je uzavřen jednoatomový ideální plyn o teplotě  $T_0$ . Píst je výšce  $h_0$  nad dnem nádoby. Atmosférický tlak vzduchu je  $p_a$ . Po zahřátí plynu v nádobě vnějším tepelným zdrojem zaujme píst polohu ve výšce  $h$  nad dnem nádoby ( $h > h_0$ ). a) Určete výslednou teplotu plynu. b) Určete práci plynu. c) Určete změnu vnitřní energie. d) Určete teplo přijaté plynem. Počítejte pro hodnoty:  $m = 6\text{ kg}$ ,  $S = 160\text{ cm}^2$ ,  $h_0 = 40\text{ cm}$ ,  $h = 45\text{ cm}$ ,  $T_0 = 300\text{ K}$ ,  $p_a = 1 \cdot 10^5\text{ Pa}$ .

45. Koncentrace jednoatomových částic plynu je  $n = 10^{15}\text{ cm}^{-3}$ . Najděte tlak plynu při teplotě  $T = 1000\text{ K}$ , je-li hmotnost jedné částice  $m = 10^{-27}\text{ kg}$ .

46. Vypočítejte hustotu meta  $\text{CH}_4$  a) za normálních podmínek, b) při  $t = 20^\circ\text{C}$ ,  $p = 98\text{ kPa}$ .

47. V nádobě o objemu  $2\text{ m}^3$  je při teplotě  $100^\circ\text{C}$  a tlaku  $4 \cdot 10^5\text{ Pa}$  směs kyslíku  $\text{O}_2$  a oxidu siřičitého  $\text{SO}_2$ . Vypočítejte parciální tlaky obou plynů, jestliže hmotnost oxidu siřičitého v nádobě je  $8\text{ kg}$ .

48. Vodík obsažený v objemu  $100\text{ cm}^3$  má tlak  $5,1 \cdot 10^4\text{ Pa}$ . Vypočítejte jeho práci, expanduje-li na pětinašobný objem a) adiabaticky, b) izotermicky.

49. Plyn s dvouatomovými molekulami je v nádrži objemu  $V_0$  při tlaku  $p_0$  a teplotě  $T_0$ . Plynu dodáme teplo  $Q$ . Vypočítejte výslednou teplotu a výsledný tlak plynu.

50. Kyslík o hmotnosti  $20\text{ g}$  zvětšil při teplotě  $15^\circ\text{C}$  svůj objem na dvojnásobek. Vypočítejte, jak se při tomto ději změnila volná (Helmholtzova) energie kyslíku.

51. Předpokládejme, že s pokusu se používá k přenosu tepla měděná tyč délky  $d = 0,5\text{ m}$ , průřezu  $S = 5\text{ cm}^2$ . Vypočítejte množství ledu, které roztaje za dobu  $\tau = 10\text{ minut}$ . Tepelná vodivost mědi je  $380\text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ , měrné teplo tání ledu je  $332 \cdot 10^3\text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

52. Jaký je výsledný tlak při adiabatické kompresi vzduchu ( $\kappa = 1,4$ ), je-li počáteční tlak  $10^5\text{ Pa}$ , počáteční teplota  $t_1 = 18,5^\circ\text{C}$  a má-li být výsledná teplota  $t = 310^\circ\text{C}$ .

53. Střední kinetická teorie translačního pohybu molekul jednoho molu plynu je  $2,5\text{ kJ}$ . Zvýší-li se teplota o  $300$  stupňů, bude pravděpodobná rychlost molekul  $642\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Určete, o který plyn jde a jaká byla jeho původní teplota.

54. Změna entropie jednoho molu ledu při roztátí je  $22,2\text{ J} \cdot \text{mol}^{-1}$ . O kolik se změní teplota tání ledu, jestliže vnější tlak rovný  $10^5\text{ Pa}$  se zdvojnásobí?

55. Dva kovové proužky, hliníkový a železný, které mají při teplotě  $0^\circ\text{C}$  stejnou tloušťku  $d = 2\text{ mm}$  a délku  $l_0 = 50\text{ cm}$ , jsou při této teplotě pevně snýtovány. Vypočítejte, jaký je poloměr vnitřní plochy kruhového oblouku, vytvořeného snýtovanými proužky při teplotě  $t = 100^\circ\text{C}$ . Součinitel délkové roztažnosti hliníku  $\alpha_1 = 24 \cdot 10^{-6}\text{ K}^{-1}$ , železa  $\alpha_2 = 12 \cdot 10^{-6}\text{ K}^{-1}$ .

56. Kolik tepla potřebuje 1 kg vody 20 °C teplé, aby se při normálním tlaku přeměnil v páru 100 °C teplou?
57. Jak se změní entropie 1 litru vody, ochladí-li se za stálého tlaku z 27 °C na 0 °C?
58. Z nádoby, v níž je uskladněno hélium pod počátečním tlakem 10 MPa, začne plyn poškozeným těsněním pomalu unikat, až tlak v nádobě klesne na normální atmosférický. Děj probíhá izotermicky za pokojové teploty. O kolik se změní za tohoto děje entropie 1 kg hélia?
59. Jaká je hustota vodních par ve vzduchu, jehož teplota je 30 °C a relativní vlhkost 75 %? Tlak nasycených vodních par při dané teplotě je asi 4242 Pa.
60. Dusík, jehož hmotnost je 28 g a který je v normálních podmínkách, izotermicky stlačíme na desetinu původního objemu. Vypočítejte práci plynu při stlačení za předpokladu, že se řídí van der Waalsovou rovnicí ( $a = 0,14 \text{ J}\cdot\text{m}^3\cdot\text{mol}^{-2}$ ,  $b = 38,7\cdot 10^{-6} \text{ m}^3\cdot\text{mol}^{-1}$ )
61. Při izotermickém ději klesl tlak 1 molu plynu z hodnoty  $98,1\cdot 10^4 \text{ Pa}$  na  $9,81\cdot 10^4 \text{ Pa}$ . Jakou práci vykonal plyn, byla-li jeho teplota a) 0 °C, b) 200 °C ?
62. Určete látkové množství vody, která má objem 3,6 litru a hustotu  $10^3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ .
63. Ocelový předmět o hmotnosti 0,90 kg a teplotě 300 °C byl vložen do vody o hmotnosti 2,5 kg a teplotě 15 °C. Jaká je teplota předmětu a vody po dosažení rovnovážného stavu? Měrná tepelná kapacita oceli je  $452 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ . Předpokládáme, že tepelná výměna nastala jen mezi ocelovým předmětem a vodou.
64. V nádobě o objemu  $V_1 = 3$  litry je vodík o hmotnosti  $m_1 = 10$  g, v nádobě o objemu  $V_2 = 5$  litrů je dusík o hmotnosti  $m_2 = 8$  g. Jaký bude tlak směsi, která vznikne po spojení obou nádob? Teplota  $t = 20$  °C.
65. Carnotův cyklus pracuje s účinností 40 procent. Jak se musí změnit teplota zásobníku tepla, aby účinnost stroje vzrostla na 50 procent? Teplota chladiče je konstantní 9 °C.
66. Vypočítejte efektivní průměr kyslíkové molekuly, znáte-li kritické hodnoty stavových veličin pro kyslík. Van der Waalsova konstanta  $b$  je přibližně rovna čtyřnásobku vlastního objemu molekul v jednom molu.
67. Do jaké výšky  $h$  vystoupí voda mezi dvěma rovnoběžnými skleněnými deskami svisle ponořenými do vody, je-li jejich vzájemná vzdálenost  $d = 0,5 \text{ mm}$ ?