

### 3. Chemická rovnováha – procvičování

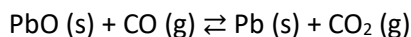
Konstanty:

Molární plynová konstanta  $R = 8,314472 \text{ J mol}^{-1}\text{K}^{-1}$

Příklady:

1. Při 25 °C je standardní slučovací Gibbsova energie amoniaku  $-16,5 \text{ kJ mol}^{-1}$ . Vypočítejte standardní reakční Gibbsovu energii a rovnovážnou konstantu pro syntézu amoniaku a rozhodněte, kam je posunuta rovnováha. ( $\Delta_r G^0 = -33 \text{ kJ mol}^{-1}$ ;  $K = 6,1 \cdot 10^5$ )
2. Při 25 °C je standardní slučovací Gibbsova energie  $\text{N}_2\text{O}_4$   $97,89 \text{ kJ mol}^{-1}$  a standardní slučovací Gibbsova energie monomeru  $51,31 \text{ kJ mol}^{-1}$ , standardní slučovací entalpie dimeru  $9,16 \text{ kJ mol}^{-1}$  a standardní slučovací entalpie monomeru  $33,18 \text{ kJ mol}^{-1}$ . Vypočítejte standardní reakční Gibbsovu energii a rovnovážnou konstantu pro přeměnu dimeru oxidu dusičitého na jeho monomer a rozhodněte, kam je posunuta rovnováha. ( $\Delta_r G^0 = 4,73 \text{ kJ mol}^{-1}$ ;  $K = 0,148$ )
3. Standardní Gibbsova energie reakce  $\text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2} \text{O}_2(\text{g})$  při 1727 °C je  $135,2 \text{ kJ mol}^{-1}$ . Vypočítejte molární zlomek kyslíku při této teplotě a tlaku 200 kPa. (0,00221)
4. Při teplotě 1984 °C a celkovém tlaku 100 kPa se v rovnováze rozloží 1,77 % vodní páry. Rovnice rozkladu vodní páry je  $2 \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$ . Vypočítejte
  - (i) reakční Gibbsovu energii. (0)
  - (ii) rovnovážnou konstantu. ( $2,848 \cdot 10^{-6}$ )
  - (iii) standardní reakční Gibbsovu energii. ( $239,616 \text{ kJ mol}^{-1}$ )
5. Při teplotě 1327 °C a celkovém tlaku 100 kPa se v rovnováze rozloží 24 % par bromu. Rovnice rozkladu par bromu je  $\text{Br}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{Br}(\text{g})$ . Vypočítejte
  - (i) rovnovážnou konstantu při 1327 °C. (0,24)
  - (ii) standardní reakční Gibbsovu energii při 1327 °C. ( $19 \text{ kJ mol}^{-1}$ )
  - (iii) rovnovážnou konstantu při teplotě 2000 °C, jestliže je v celém teplotním rozsahu reakční entalpie rovna  $112 \text{ kJ mol}^{-1}$ . (2,96)
6. Při teplotě 25 °C je standardní slučovací Gibbsova energie methanu  $-50,72 \text{ kJ mol}^{-1}$  a standardní slučovací Gibbsova energie chloroformu je  $-73,66 \text{ kJ mol}^{-1}$ , standardní slučovací Gibbsova energie HCl je  $-95,30 \text{ kJ mol}^{-1}$ , standardní slučovací entalpie methanu je  $-74,81 \text{ kJ mol}^{-1}$ , standardní slučovací entalpie chloroformu je  $-134,47 \text{ kJ mol}^{-1}$  a standardní slučovací entalpie HCl je  $-92,31 \text{ kJ mol}^{-1}$ . Vypočítejte standardní reakční Gibbsovu energii a rovnovážnou konstantu reakce
$$\text{CH}_4(\text{g}) + 3 \text{Cl}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CHCl}_3(\text{l}) + 3 \text{HCl}(\text{g})$$
  - (i) při 25 °C. ( $\Delta_r G^0 = -308,84 \text{ kJ mol}^{-1}$ ;  $K = 1,3 \cdot 10^{54}$ )
  - (ii) při 50 °C, je-li standardní reakční entalpie v celém teplotním rozsahu konstantní. ( $\Delta_r G^0 = -306,52 \text{ kJ mol}^{-1}$ ;  $K = 3,5 \cdot 10^{49}$ )V obou případech rozhodněte, kam je posunuta rovnováha.

7. Při 25 °C je standardní slučovací Gibbsova energie oxidu olovnatého  $-188,93 \text{ kJ mol}^{-1}$ , standardní slučovací Gibbsova energie oxidu uhelnatého  $-137,17 \text{ kJ mol}^{-1}$ , standardní slučovací Gibbsova energie oxidu uhličitého  $-394,36 \text{ kJ mol}^{-1}$ , standardní slučovací entalpie oxidu olovnatého  $-218,99 \text{ kJ mol}^{-1}$ , standardní slučovací entalpie oxidu uhelnatého  $-110,53 \text{ kJ mol}^{-1}$  a standardní slučovací entalpie oxidu uhličitého  $-393,51 \text{ kJ mol}^{-1}$ . Vypočítejte standardní reakční Gibbsovu energii a rovnovážnou konstantu reakce



- (i) při 25 °C. ( $\Delta_r G^0 = -68,26 \text{ kJ mol}^{-1}$ ;  $K = 9,091 \cdot 10^{11}$ )  
(ii) při 127 °C, je-li standardní reakční entalpie v celém teplotním rozsahu konstantní.

$$(\Delta_r G^0 = -69,721 \text{ kJ mol}^{-1}; K = 1,262 \cdot 10^9)$$

V obou případech rozhodněte, kam je posunuta rovnováha.

8. Reaktanty i produkty v reakci  $\text{A} + \text{B} \rightleftharpoons \text{C} + 2 \text{D}$  jsou plyny. Jestliže při teplotě 25 °C a celkovém tlaku 100 kPa smícháme 2 mol A, 1 mol B a 3 mol D, bude rovnovážná směs obsahovat 0,79 mol C. Vypočítejte

- (i) molární zlomky všech látek v rovnováze. (A: 0,1782; B: 0,0309; C: 0,1163; D: 0,6745)  
(ii) rovnovážnou konstantu. (9,609)  
(iii) standardní reakční Gibbsovu energii. ( $-5,6 \text{ kJ mol}^{-1}$ )

9. V teplotním rozmezí 527 °C až 1227 °C je standardní reakční entalpie určité reakce rovna  $125 \text{ kJ mol}^{-1}$ . Standardní reakční Gibbsova energie při 847 °C je  $22 \text{ kJ mol}^{-1}$ . Vypočítejte, při jaké teplotě je rovnovážná konstanta rovna 1. (1086,26 °C)

10. V teplotním rozmezí 647 °C až 1007 °C je standardní reakční entalpie určité reakce rovna  $224 \text{ kJ mol}^{-1}$ . Standardní reakční Gibbsova energie při 1007 °C je  $33 \text{ kJ mol}^{-1}$ . Vypočítejte, při jaké teplotě je rovnovážná konstanta rovna 1. (1228,18 °C)

11. V teplotním rozmezí 27 °C až 327 °C platí pro rovnovážnou konstantu reakce empirický vztah

$$\ln K = -1,04 - \frac{1088K}{T(K)} + \frac{1,51 \cdot 10^5 K^2}{(T(K))^2}$$

Vypočítejte standardní reakční entalpii, standardní reakční Gibbsovu energii a standardní reakční entropii při 127 °C. ( $\Delta_r H^0 = 2,771 \text{ kJ mol}^{-1}$ ;  $\Delta_r G^0 = 9,369 \text{ kJ mol}^{-1}$ ;  $\Delta_r S^0 = -16,488 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ )

12. V teplotním rozmezí 127 °C až 227 °C platí pro rovnovážnou konstantu reakce empirický vztah

$$\ln K = -2,04 - \frac{1176K}{T(K)} + \frac{2,1 \cdot 10^7 K^3}{(T(K))^3}$$

Vypočítejte standardní reakční entalpii, standardní reakční Gibbsovu energii a standardní reakční entropii při 177 °C. ( $\Delta_r H^0 = 7,191 \text{ kJ mol}^{-1}$ ;  $\Delta_r G^0 = 16,55 \text{ kJ mol}^{-1}$ ;  $\Delta_r S^0 = -20,79 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ )

13. Vypočítejte, jaký bude účinek dvojnásobného zvýšení tlaku na rovnovážné složení reakční směsi při reakci  $\text{H}_2\text{CO (g)} \rightleftharpoons \text{CO (g)} + \text{H}_2 \text{ (g)}$ . U všech složek reakční směsi předpokládejte ideální chování. (Podíl produktů se 2x sníží.)

14. Vypočítejte, jaký bude účinek dvojnásobného zvýšení tlaku na rovnovážné složení reakční směsi při reakci  $\text{CH}_3\text{OH}(\text{g}) + \text{NOCl}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{HCl}(\text{g}) + \text{CH}_3\text{NO}_2(\text{g})$ . U všech složek reakční směsi předpokládejte ideální chování. (Zvýšení tlaku nebude mít žádný účinek.)
15. Při 230 °C je rovnovážná konstanta izomerizace borneolu na izoborneol rovna 0,106. Vypočítejte molární zlomek obou látek v rovnováze, smícháme-li při této teplotě a celkovém tlaku 100 kPa 7,5 g borneolu a 14 g izoborneolu ( $M = 154,25 \text{ g mol}^{-1}$ ). (borneol: 0,904; izoborneol: 0,096)
16. Při 2027 °C je rovnovážná konstanta reakce  $\text{N}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{NO}(\text{g})$  rovna  $1,69 \cdot 10^{-3}$ . Vypočítejte molární zlomek oxidu dusnatého v rovnováze, jestliže při této teplotě a celkovém tlaku 100 kPa smícháme 5 g dusíku ( $M(\text{N}_2) = 28,02 \text{ g mol}^{-1}$ ) a 2 g kyslíku ( $M(\text{O}_2) = 32,00 \text{ g mol}^{-1}$ ). ( $1,76 \cdot 10^{-2}$ )
17. Vypočítejte standardní reakční entalpii reakce, jejíž rovnovážná konstanta bude mít po zvýšení teploty z původních 37 °C o 15 °C hodnotu
- (i) dvakrát větší. ( $39 \text{ kJ mol}^{-1}$ )
  - (ii) dvakrát menší. ( $-39 \text{ kJ mol}^{-1}$ )
18. Chlorid amonný se při teplotě 427 °C rozkládá na amoniak a chlorovodík, je-li tlak jeho par 608 kPa, a při 459 °C, je-li tlak jeho par 1115 kPa. Vypočítejte
- (i) rovnovážnou konstantu a standardní reakční Gibbsovu energii při 427 °C.  
( $K = 9,24$ ;  $\Delta_r G^0 = -12,9 \text{ kJ mol}^{-1}$ )
  - (ii) rovnovážnou konstantu a standardní reakční Gibbsovu energii při 459 °C.  
( $K = 31,08$ ;  $\Delta_r G^0 = -20,9 \text{ kJ mol}^{-1}$ )
  - (iii) standardní reakční entalpii a entropii, jsou-li v daném teplotním rozsahu konstantní.  
( $\Delta_r H^0 = 161 \text{ kJ mol}^{-1}$ ;  $\Delta_r S^0 = 248 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ )
19. Tepelným rozkladem kalcitu vzniká plyn, jehož tlak je 100 kPa. Standardní slučovací entalpie kalcitu ( $\text{CaCO}_3$ ) je  $-1206,9 \text{ kJ mol}^{-1}$ , standardní slučovací entalpie  $\text{CaO}$  je  $-635,09 \text{ kJ mol}^{-1}$ , standardní slučovací entalpie oxidu uhličitého je  $-393,51 \text{ kJ mol}^{-1}$ , molární entropie kalcitu je  $92,9 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ , molární entropie oxidu vápenatého je  $39,75 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$  a molární entropie oxidu uhličitého je  $213,74 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ . Standardní entalpie i entropie rozkladu kalcitu jsou v celém teplotním rozsahu konstantní. Vypočítejte teplotu, při které k rozkladu kalcitu dochází. ( $837,13 \text{ °C}$ )
20. Dehydratací modré skalice vzniká plyn, jehož tlak je 100 kPa. Standardní slučovací entalpie modré skalice (pentahydrát síranu měďnatého) je  $-2279,7 \text{ kJ mol}^{-1}$ , standardní slučovací entalpie síranu měďnatého  $-771,36 \text{ kJ mol}^{-1}$ , standardní slučovací entalpie vodní páry  $-241,82 \text{ kJ mol}^{-1}$ , molární entropie modré skalice  $300,4 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ , molární entropie síranu měďnatého  $109 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$  a molární entropie vodní páry  $188,83 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ . Standardní entalpie i entropie dehydratace modré skalice jsou v celém teplotním rozsahu konstantní. Vypočítejte teplotu, při které k dehydrataci modré skalice dochází.  
( $124 \text{ °C}$ )

21. Při 25 °C je rovnovážná konstanta rozpouštění fluoridu vápenatého  $3,9 \cdot 10^{-11}$ . Standardní slučovací Gibbsova energie nerozpuštěného fluoridu vápenatého je  $-1167 \text{ kJ mol}^{-1}$ . Vypočítejte standardní slučovací Gibbsovu energii rozpuštěného fluoridu vápenatého. ( $-1107,586 \text{ kJ mol}^{-1}$ )
22. Při 25 °C je rovnovážná konstanta rozpouštění jodidu olovnatého  $1,4 \cdot 10^{-8}$ . Standardní slučovací Gibbsova energie nerozpuštěného jodidu olovnatého je  $-173,64 \text{ kJ mol}^{-1}$ . Vypočítejte standardní slučovací Gibbsovu energii rozpuštěného jodidu olovnatého. ( $-128,8 \text{ kJ mol}^{-1}$ )
23. Nakreslete závislost Gibbsovy energie izomerizace na rozsahu reakce s číselným vyznačením standardní reakční Gibbsovy energie při 25 °C a správně umístěným minimem křivky, jestliže rovnovážná konstanta má hodnotu a) 10, b) 3, c) 1.