

## Ćwiczenia audytoryjne z Chemii fizycznej 1

### Zalecane zadania – część 1

Uwaga! Uzyskane wyniki mogą się nieco różnić od podanych w materiałach, ze względu na uaktualnianie wartości zapisanych w Tablicach.

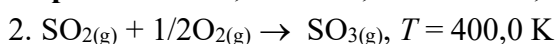
#### **1. Termochemia**

##### **1.1. Obliczanie standardowych entalpii i standardowych energii wewnętrznych reakcji chemicznych w dowolnej temperaturze.**

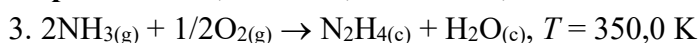
Obliczyć standardową entalpię i standardową energię wewnętrzną następujących reakcji w podanych temperaturach:



**Odp.  $\Delta H^\circ = -146,5 \text{ kJ/mol}$ ;  $\Delta U^\circ = -121,5 \text{ kJ/mol}$ .**



**Odp.  $\Delta H^\circ = -99,2 \text{ kJ/mol}$ ;  $\Delta U^\circ = -97,6 \text{ kJ/mol}$**



**Odp.  $\Delta H^\circ = -138,6 \text{ kJ/mol}$ ;  $\Delta U^\circ = -131,4 \text{ kJ/mol}$**

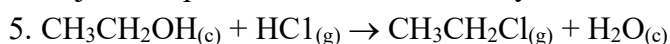
Obliczyć rzeczywisty efekt cieplny dla reakcji, w której biorą udział stechiometryczne ilości substratów, prowadzonej w warunkach nieizotermicznych.

4. 1,5 kg  $\text{K}_2\text{O}(\text{s})$  umieszczono w atmosferze  $\text{CO}_2$  i w temperaturze 298,0 K. Kiedy reakcja  $\text{K}_2\text{O}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g}) \rightarrow \text{K}_2\text{CO}_3(\text{s})$  zaszła do końca, temperatura wyniosła 350,0 K i nie stwierdzono istotnej obecności dwutlenku węgla. Obliczyć zmianę entalpii dla opisanego procesu zakładając, że reakcja zaszła w warunkach standardowych.

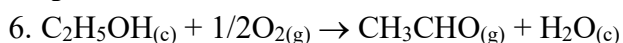
**Odp.  $\Delta H^\circ = -6170 \text{ kJ}$**

##### **1.2. Szacowanie standardowych entalpii na podstawie średnich termochemicznych energii wiązań.**

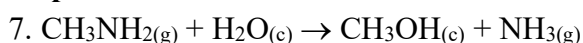
Obliczyć standardową entalpię (ew. standardową energię wewnętrzną) następujących reakcji w temperaturze 298 K, bez korzystania ze standardowych entalpii tworzenia.



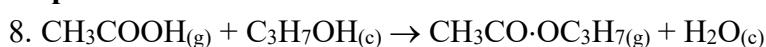
**Odp.  $\Delta H^\circ = -12 \text{ kJ/mol}$**



**Odp.  $\Delta H^\circ = -184 \text{ kJ/mol}$**

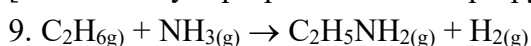


**Odp.  $\Delta H^\circ = 6 \text{ kJ/mol}$**



**Odp.  $\Delta H^\circ = 4 \text{ kJ/mol}$**

[kwas octowy + propanol  $\rightarrow$  octan propylu + woda]

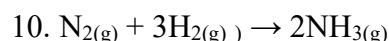


**Odp.  $\Delta H^\circ = 83 \text{ kJ/mol}$**

Tę ostatnią wartość porównać z obliczoną na podstawie standardowych entalpii tworzenia.

### 1.3. Obliczanie temperatury dla reakcji prowadzonej w warunkach adiabatycznych ( $V = \text{const}$ lub $p = \text{const}$ ).

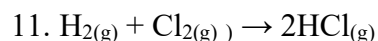
Dla następujących reakcji prowadzonych w warunkach adiabatycznych i izochorycznych (albo izobarycznych) obliczyć końcową temperaturę. Założyć: niezależność  $c_p$  od temperatury (równe wartości dla  $T = T_1$ ), określony stopień przereagowania substratów, wartość temperatury początkowej ( $T_1$ ) oraz stosunek molowy substratów.



**Odp.**

warunki	$T_1/\text{K}$	$\text{N}_2:\text{H}_2$	$\alpha$	$T_k/\text{K}$
$p = \text{const}$	300,0	1:3	1	<b>1610</b>
$V = \text{const}$	300,0	1:3	1	<b>1920</b>
$p = \text{const}$	300,0	1:1	0,667*	<b>731</b>

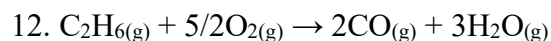
\*Dotyczy  $\text{H}_2$ .



**Odp.**

warunki	$T_1/\text{K}$	$\text{H}_2:\text{Cl}_2$	$\alpha$	$T_k/\text{K}$
$p = \text{const}$	298,0	1:1	1	<b>3470</b>
$V = \text{const}$	298,0	1:1	1	<b>4730</b>

Rozwiązanie zadania – patrz: „Rozwiązanie niektórych zadań treningowych do I kolokwium”



**Odp.**

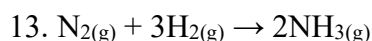
warunki	$T_1/\text{K}$	$\text{C}_2\text{H}_6:\text{O}_2$	$\alpha$	$T_k/\text{K}$
$p = \text{const}$	300,0	1:2,5	1	<b>5810</b>
$V = \text{const}$	300,0	1:2,5	1	<b>7840</b>
$p = \text{const}$	300,0	1:3	1	<b>5350</b>
$V = \text{const}$	300,0	1:3	1	<b>7210</b>
$p = \text{const}$	300,0	1:3	0,75*	<b>4270</b>
$V = \text{const}$	300,0	1:3	0,75*	<b>5690</b>

\*Dotyczy  $\text{C}_2\text{H}_6$ .

Czy rozwiązania zadań 11 i 12 są wiarygodne? Jeśli nie, to dlaczego?

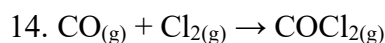
#### 1.4. Bilanse energetyczne reaktorów okresowych i przepływowych.

Dla następujących reakcji zachodzących w okresowym reaktorze izochorycznym, obliczyć: a) efekt cieplny (przy znanej temperaturze - początkowej ( $T_1$ ) i końcowej ( $T_2$ ); b) temperaturę końcową dla reakcji zachodzącej w warunkach adiabatycznych. Założyć: określony stopień przereagowania pierwszego substratu oraz stosunek molowy substratów, a dla procesu adiabatycznego dodatkowo niezależność  $c_p$  od temperatury (równe wartościom dla  $T = T_1$ ).



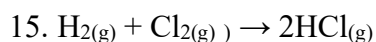
**Odp.**

warunki	$T_1/\text{K}$	$T_2/\text{K}$	$\text{N}_2:\text{H}_2$	$\alpha$	$Q/\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
$Q \neq 0$	350,0	400,0	1:3	0,75	<b>-63,0</b>
$Q = 0$	298,0	<b>1028</b>	1:3	0,5	0



**Odp.**

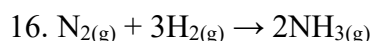
warunki	$T_1/\text{K}$	$T_2/\text{K}$	$\text{CO}:\text{Cl}_2$	$\alpha$	$Q/\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
$Q \neq 0$	300,0	1500,0	1:2	0,8	<b>33,9</b>
$Q = 0$	300,0	<b>1562</b>	1:2	0,8	0



**Odp.**

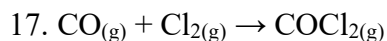
warunki	$T_1/\text{K}$	$T_2/\text{K}$	$\text{H}_2:\text{Cl}_2$	$\alpha$	$Q/\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
$Q \neq 0$	300,0	500,0	1:1	0,6	<b>-102</b>
$Q = 0$	250,0	<b>1504</b>	1:1	0,3	0

Dla następujących reakcji zachodzących w reaktorze przepływowym stacjonarnym, obliczyć: a) efekt cieplny (przy znanej temperaturze - początkowej ( $T_1$ ) i końcowej ( $T_2$ ); b) temperaturę końcową dla reakcji zachodzącej w warunkach adiabatycznych. Założyć: określony stopień przereagowania pierwszego substratu oraz stosunek molowy substratów, a dla procesu adiabatycznego dodatkowo niezależność  $c_p$  od temperatury (równe wartościom dla  $T = T_1$ ).



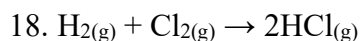
**Odp.**

warunki	$T_1/\text{K}$	$T_2/\text{K}$	$\text{N}_2:\text{H}_2$	$\alpha$	$Q/\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
$Q \neq 0$	350,0	400,0	1:3	0,75	<b>-66,4</b>
$Q = 0$	298,0	<b>793</b>	1:3	0,5	0



**Odp.**

warunki	$T_1/\text{K}$	$T_2/\text{K}$	$\text{CO}:\text{Cl}_2$	$\alpha$	$Q/\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
$Q \neq 0$	300,0	1500,0	1:2	0,8	<b>53,9</b>
$Q = 0$	300,0	<b>1246</b>	1:2	0,8	0



**Odp.**

warunki	$T_1/\text{K}$	$T_2/\text{K}$	$\text{H}_2:\text{Cl}_2$	$\alpha$	$Q/\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
$Q \neq 0$	300,0	500,0	1:1	0,6	<b>-98,7</b>
$Q = 0$	250,0	<b>1161</b>	1:1	0,3	0

## **2. Obliczanie zmian funkcji termodynamicznych, pracy objętościowej i efektu cieplnego dla procesów w jednoskładnikowych układach zamkniętych.**

### **2.1. Procesy dla gazów doskonałych.**

19. Obliczyć zmianę entropii dla procesu ( $p_1 = 1,00 \text{ bar}$ ,  $T_1 = 600,0 \text{ K}$ )  $\rightarrow$  ( $p_2 = 8,00 \text{ barów}$ ,  $T_2 = 270,0 \text{ K}$ ), któremu poddane są 2 mole gazowego azotu.

**Odp.  $\Delta S = -81,60 \text{ J/K}$**

20. Obliczyć zmianę entropii dla następującego ciągu przemian, którym poddane jest 150,0 g gazowego siarkowodoru: ( $p_1 = 5,00 \text{ bar}$ ,  $V_1 = 30,0 \text{ dm}^3$ )  $\rightarrow$  ( $V_2 = 40,0 \text{ dm}^3$ )  $\rightarrow$  ( $V_3 = 25,0 \text{ dm}^3$ ). Pierwszy proces przeprowadzany jest izotermicznie, drugi izobarycznie.

**Odp.  $\Delta S = -62,0 \text{ J/K}$**

21. Odwracalnie i adiabatycznie sprężono gazowy tlenek azotu (NO) od warunków początkowych ( $p_1 = 1,00 \text{ atm}$ ,  $T_1 = 20,0 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $V_1 = 2,50 \text{ dm}^3$ ) aż do osiągnięcia temperatury o 10,0 K wyższej. Obliczyć końcowe ciśnienie.

**Odp.  $p = 1,143 \text{ bar}$**

22. Gazowy HCl znajdujący się w warunkach początkowych  $p_1 = 0,500 \text{ bar}$ ,  $V_1 = 25,0 \text{ dm}^3$ ,  $T_1 = 300,0 \text{ K}$ , sprężono za pomocą prasy wytwarzającej stałe ciśnienie 5,00 barów. Końcowa temperatura wyniosła 310,0 K. Obliczyć efekt cieplny procesu.

Czy efekt ten byłby inny (i dlaczego), gdyby sprężanie odbywało się poprzez prasę zmieniającą swój nacisk razem z podwyższaniem się ciśnienia gazu?

**Odp.  $Q = -11,3 \text{ kJ}$**

23. Dla następującej przemiany: ( $p_1 = 1,00 \text{ bar}$ ,  $T_1 = 300,0 \text{ K}$ ,  $V_1 = 10,00 \text{ dm}^3$ )  $\rightarrow$  ( $T_2 = 350,0 \text{ K}$ ,  $V_2 = 10,00 \text{ dm}^3$ )  $\rightarrow$  [odwracalnie]  $\rightarrow$  ( $p_3 = 1,00 \text{ bar}$ ,  $T_3 = 350,0 \text{ K}$ )  $\rightarrow$  ( $p_4 = 1,00 \text{ bar}$ ,  $T_4 = 300,0 \text{ K}$ ), której poddany jest gazowy metan, obliczyć sumaryczny efekt cieplny.

**Odp.  $Q = 13,2 \text{ J}$**

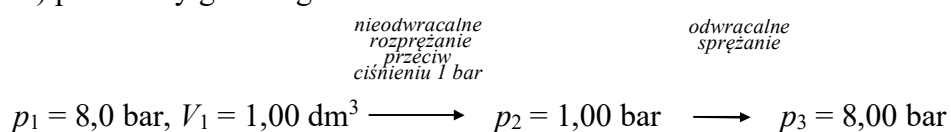
24. Gazowy amoniak poddano przemianę izotermiczną ( $T = 350,0 \text{ K}$ ):  $p_1 = 1,00 \text{ bar}$ ,  $50,00 \text{ dm}^3$  (przemiana odwracalna)  $\rightarrow p_2 = 8,00 \text{ bar}$  (poprzez otwarcie zbiornika do atmosfery  $p = 1,00 \text{ bar}$ )  $\rightarrow p_3 = 1,00 \text{ bar}$ . Obliczyć efekt cieplny przemiany.

**Odp.  $Q = -6,02 \text{ kJ}$**

25. Dla sumarycznego procesu, w którym bierze udział gazowy NO: ( $p_1 = 1,00 \text{ bar}$ ,  $T_1 = 298,0 \text{ K}$ ,  $V_1 = 10,00 \text{ dm}^3$ )  $\rightarrow T = \text{const}$ , odwracalnie  $\rightarrow (p_2 = 1,50 \text{ bar}$ ,  $T_2 = 298,0 \text{ K}) \rightarrow V = \text{const} \rightarrow (p_3 = 1,00 \text{ bar})$ , obliczyć zmianę entropii oraz efekt cieplny towarzyszący przemianie.

**Odp.  $\Delta S = -4,84 \text{ J/K}$ ;  $Q = -1,26 \text{ kJ}$**

26. Obliczyć sumaryczną pracę i efekt cieplny dla następującej izotermicznej ( $T = 400,0 \text{ K}$ ) przemiany gazowego NO:



**Odp.  $w = 964 \text{ J}$ ;  $Q = -964 \text{ J}$**

## 2.2. Procesy dla faz skondensowanych.

27. Obliczyć zmianę entropii dla izotermicznego ( $T = 298,0 \text{ K}$ ) sprężania  $2,00 \text{ g}$  ciekłego oktanu od ciśnienia  $1,00 \text{ atm}$  do  $50,0 \text{ atm}$ .

**Odp.  $\Delta S = -0,0165 \text{ J/K}$**

28. Obliczyć efekt cieplny izotermicznego ( $T = 298,0 \text{ K}$ ) i odwracalnego sprężania  $10,0 \text{ g}$  ciekłego *n*-heptanu od ciśnienia  $1,00$  do  $50,0 \text{ bar}$ ów.

**Odp.  $Q = -24,9 \text{ J}$**

29. O ile wzrośnie temperatura  $5,00 \text{ g}$  ciekłej rtęci będącej początkowo w temperaturze  $300,0 \text{ K}$  i pod ciśnieniem  $1,00 \text{ atm}$ , w wyniku adiabatycznego i odwracalnego sprężania do ciśnienia  $300,0 \text{ atm}$ ?

**Odp.  $0,9 \text{ K}$**

30. Naczynie o stałej objętości  $50,0 \text{ cm}^3$  napełniono całkowicie ciekłym etanolem pod ciśnieniem  $1,00 \text{ bara}$  i w temperaturze  $298,0 \text{ K}$ . Naczynie zamknięto i podgrzano o  $1,0 \text{ K}$ . Obliczyć ciśnienie w układzie oraz efekt cieplny towarzyszący przemianie.

**Odp.  $p_2 = 13,3 \text{ bar}$ ;  $Q = 69,2 \text{ J}$**

31.  $5,00 \text{ g}$  miedzi poddane jest przemianie ( $p_1 = 1,00 \text{ atm}$ ,  $T_1 = 298,0 \text{ K}$ )  $\rightarrow (p_2 = 50,0 \text{ atm}$ ,  $T_2 = 348,0 \text{ K})$ . Obliczyć końcową objętość.

**Odp.  $V_2 = 0,559 \text{ cm}^3$**

32. Obliczyć zmianę energii wewnętrznej, jaka towarzyszy sprężaniu  $100,0 \text{ cm}^3$  (w warunkach początkowych) ciekłego *n*-heptanu od  $1,00$  do  $100,0 \text{ atmosfer}$ , w stałej temperaturze  $298,0 \text{ K}$ .

**Odp.  $-340 \text{ J}$**

33.  $10,0 \text{ g}$  ciekłego *n*-dekanu sprężono izotermicznie ( $T = 298,0 \text{ K}$ ), zmniejszając objętość naczynia (poprzez przesuw tłoka) o  $2\%$  w stosunku do stanu początkowego pod ciśnieniem  $p = 1,00 \text{ bar}$ . Jakie ciśnienie zewnętrzne musiało być użyte?

**Odp.  $178 \text{ bar}$**

34. 10,0 g wody ciekłej podgrzano izochorycznie o 5,0 K od temperatury 298,0 K, a następnie otwarto naczynie do atmosfery ( $p = 1,00$  bar). Obserwowany proces był praktycznie izotermiczny. Obliczyć wykonaną pracę.

**Odp.  $w = -1,29 \cdot 10^{-3}$  J**

### 2.3. Procesy dla gazów rzeczywistych.

35. Obliczyć zmianę energii wewnętrznej podczas izotermicznego ( $T = 298,0$  K) opróżniania do atmosfery ( $p = 1,00$  bar) pojemnika o objętości 5,00 dm<sup>3</sup> zawierającego 1,00 kg sprężonego tlenu.

**Odp.  $\Delta U = 26,8$  kJ**

36. Obliczyć zmianę entalpii dla następującego ciągu przemian 20,0 dm<sup>3</sup> (w warunkach początkowych) gazowego metanu: ( $p_1 = 1,00$  bar,  $T_1 = 200,0$  K)  $\rightarrow$  ( $V_2 = 500,0$  cm<sup>3</sup>,  $T_2 = 200,0$  K)  $\rightarrow$  ( $V_3 = 1,00$  dm<sup>3</sup>). Ostatni etap zachodzi izobarycznie.

**Odp.  $\Delta H = 4,10$  kJ**

37. 2,00 mole NH<sub>3(g)</sub> sprężono izotermicznie ( $T = 350,0$  K) i odwracalnie od ciśnienia 1,00 bara do 25,0 barów. Obliczyć zmianę energii wewnętrznej i pracę objętościową wykonaną w układzie.

**Odp.  $\Delta U = -702$  J (-454 J jeśli liczy się parametr  $a$  w oparciu o  $T_k$  i  $V_k$ );  $w = 18,73$  kJ**

38. 10,0 moli CO<sub>(g)</sub> rozpręża się izotermicznie ( $T = 15,00$  °C) od ciśnienia 120,0 bar (objętość wynosi wtedy 1,875 dm<sup>3</sup>) do 1,00 atm, poprzez otwarcie zbiornika do próżni, a następnie zamknięcie zaworu gdy ciśnienie osiągnie wartość końcową. Obliczyć efekt cieplny przemiany.

**Odp.  $Q = 7,79$  kJ**

39. 1,00 kg gazowego azotu spręża się w warunkach izotermicznych ( $T = 300,0$  K) od ciśnienia 1,00 bar do objętości 10,00 dm<sup>3</sup>. Obliczyć zmianę entropii oraz pracę wykonaną (a) odwracalnie; (b) przy stałym ciśnieniu zewnętrznym równym ciśnieniu końcowemu.

**Odp.  $\Delta S = -1,38$  kJ/K,  $w_a = 396$  kJ,  $w_b = 7560$  kJ**

### 3. Równowagi fazowe w układach jednoskładnikowych.

40. Obliczyć temperaturę topnienia czystego *n*-heptanu pod ciśnieniem 25,0 atm.

**Odp.  $T_t = 183,0$  K**

41. Obliczyć temperaturę wrzenia i entalpię parowania butanonu (CH<sub>3</sub>COC<sub>2</sub>H<sub>5</sub>) pod ciśnieniem 2,50 barów.

**Odp.  $T_w = 384,3$  K;  $\Delta H_{\text{par}} = 32,0$  kJ/mol**

42. Na powierzchni planety X odkryto duże ilości amoniaku. Stwierdzono również, że jego ciśnienie w dolnych warstwach atmosfery wynosi 0,100 bara. Czy w tych warunkach mogą istnieć oceany ze skroplonego amoniaku? Jeśli tak, to jaka powinna być temperatura na powierzchni planety, żeby to mogło mieć miejsce?

**Odp. Ciekły NH<sub>3</sub> może istnieć w zakresie temperatur  $195,4 \leq T/\text{K} \leq 201,8$**

43. Obliczyć prężność pary nasyconej nad stałym heksadekanem w temperaturze punktu potrójnego.

**Odp.  $p = 3,6 \cdot 10^{-2}$  Pa**

44. Stały *n*-eikozan występuje w dwóch odmianach polimorficznych -  $\alpha$  i  $\beta$ , przy czym faza  $\alpha$  jest trwała w wyższych temperaturach. W jakim przedziale temperatur będzie ona trwała pod ciśnieniem 45,0 atm?

**Odp.  $306,16 \leq T/K \leq 310,76$**

45. Obliczyć entalpię parowania toluenu pod ciśnieniem 10,0 kPa.

**Odp. 37,2 kJ/mol**

46. Wyznaczyć krzywą sublimacji *n*-dekanu. W jakim przedziale temperatur jest ona określona?

**Odp.  $\ln(p/1 \text{ mm Hg}) = -10985/T + 40,1525$ ; dla  $T \leq 243,5$  K**

47. W temperaturze 298,0 K i pod początkowym ciśnieniem 1,00 atm, 5,00 g ciekłego cykloheksanu wypełnia całkowicie zamknięte naczynie o regulowanej objętości. Jakiego ciśnienia należy użyć, żeby izotermicznie zmniejszyć jego objętość do 95,0 % pierwotnej wielkości? Czy w tych warunkach może wykrystalizować się stały cykloheksan?

**Odp.  $p = 326$  bar; w stanie końcowym będą współistnieć 2 fazy – stała i cieka.**

48. W naczyniu zamkniętym tłokiem umieszczono 0,500 mola ciekłego eteru dwuetylowego ( $C_2H_5OC_2H_5$ ), początkowo pod ciśnieniem 1,00 bara i w temperaturze 298,0 K. Następnie dokonano dwóch kolejnych przemian: 1) sprężono eter do ciśnienia 50,0 barów, 2) rozprężono do ciśnienia 0,100 bara. Na koniec eksperymentu temperatura wyniosła 315,0 K. Obliczyć zmianę energii wewnętrznej dla całego procesu.

**Odp.  $\Delta U = 13,3$  kJ**